



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ACATLAN"**

**METODOS PARA LA COLOCACIÓN DE MATERIALES DE  
REPARACION EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A :  
**ALEJANDRO TORRES LOPEZ**

ASESOR DE TESIS:  
**ING. PABLO MIGUEL PAVIA ORTIZ**



**ACATLAN, ESTADO DE MEXICO**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A MIS PADRES:*

IMELDA Y CONSTANTINO

Ejemplo de lucha y amor.

Gracias por todo su cariño, apoyo y comprensión

*A MIS HERMANOS:*

MARIBEL, CARMEN, CARLOS, YARAVÍ Y DIEGO

Gracias por sus consejos y ejemplo.

*Al ING. PABLO MIGUEL PAVÍA ORTÍZ:*

Gracias por su amistad y apoyo darle forma a este trabajo

Y un reconocimiento a su labor como profesor ¡Gracias!

*A LA UNIVERSIDAD:*

Mi identidad y orgullo como ser humano

*A MIS PROFESORES:*

Gracias por el conocimiento adquirido  
y sobre todo a aquellos que me brindaron su consejo  
y contribuyeron a darle forma a este trabajo.

*A DIOS:*

Ser supremo, realidad y existencia

Introducción.....	1
<b>Capítulo 1. Generalidades sobre concreto.</b>	
1.1.- Concreto.....	5
1.1.1. Composición.....	5
1.2.- Cementos.....	6
1.2.1. Tipos de cemento.....	6
1.2.2. Composición.....	7
1.2.3. Clases resistentes.....	7
1.3.- Agregados.....	9
1.3.1. Agregados finos.....	9
1.3.2. Agregados gruesos.....	9
1.3.3. Manejo y almacenamiento.....	10
1.4.- Agua.....	12
1.5.- Acero de refuerzo.....	13
1.5.1. Comportamiento del acero inmerso en concreto.....	14
1.5.2. Requisitos de ejecución.....	15
1.5.3. Acero Pretensado y Postensado.....	15
<b>Capítulo 2. Causas y tipos de daño más comunes en estructuras de concreto</b>	
2.1.- Causa de daños.....	19
2.1.1. Durante la construcción.....	19
2.1.2. Errores de proyecto.....	20
2.1.3. Daños por sismo.....	21
2.2.- Clasificación de daños por sismo.....	22
2.2.1. Clasificación general de daños.....	22
2.3.- Daños en elementos estructurales.....	24
2.3.1. Vigas.....	24
2.3.2. Columnas.....	28
2.3.3. Conexiones.....	30
2.3.4. Sistemas de piso (losas).....	30
2.3.5. Muros de carga.....	33
2.3.6. Puentes y viaductos.....	35
2.3.7. Silos y tanques.....	36
2.3.8. Estructuras en agua de mar o agua dulce.....	36
2.3.9. Galerías de agua y alcantarillado.....	37
2.3.10. Edificios industriales.....	38
2.3.11. Cimentaciones.....	39
2.4.- Daño en elementos no estructurales.....	40
2.5.- Corrosión del acero de refuerzo.....	42
2.5.1. Ataque por cloruros.....	43
2.5.2. Carbonatación.....	44
2.5.3. Efectos de la corrosión en estructuras de concreto.....	45
2.6.- Grietas.....	47
2.6.1. El agrietamiento en prefabricados de concreto.....	48
2.7.- Problemas más frecuentes que requieren reparación.....	49
2.7.1. Penetración de agua en los muros.....	49

2.7.2. Eflorescencia.....	52
2.7.3. Daños por incendio.....	52

Capítulo 3. Consideraciones preliminares y elección de los materiales y productos para la reparación.

3.1.- Antecedentes.....	55
3.1.1. Refuerzos temporales.....	56
3.2.- Preparación del área a reparar.....	57
3.2.1. Eliminación de la contaminación de cloruros.....	57
3.2.2. Preparación del sustrato.....	58
3.2.3. Limpieza de las superficies.....	67
3.3.- Agentes adhesivos.....	75
3.4.- Compuestos modificados.....	77
3.4.1. Compuestos modificados con látex y acrílicos.....	77
3.4.2. Sistema de mortero de cemento modificado con plásticos..	77
3.4.3. Morteros y lechadas orgánicas.....	77
3.5.- Resinas epóxicas.....	80
3.6.- Concreto, lechada o mortero de cemento.....	82
3.7.- Materiales de fraguado rápido.....	84
3.8.- Selladores.....	85
3.9.- Aditivos.....	87
3.10.- Materiales para protección de superficies.....	89

Capítulo 4. Métodos para la colocación de materiales de reparación en estructuras de concreto.

4.1.- Reemplazo del concreto.....	93
4.2.- Empaquetado y compactación en seco.....	107
4.3.- Concreto de agregado precolado.....	109
4.4.- Concreto lanzado (aplicación neumática).....	112
4.4.1. Requisitos para la reparación con concreto lanzado.....	114
4.5.- Reparación de losas.....	119
4.6.- Apertura en la parte superior.....	129
4.7.- Colado al fondo desde la parte superior.....	132
4.8.- Pico de pájaro.....	143
4.9.- Moldes y bombas.....	147
4.10.- Aplicación a mano.....	150
4.11.- Reparación de cuarteaduras.....	159
4.12.- Refuerzo en estructuras de concreto.....	164
4.13.- Reparación y protección contra la carbonatación.....	178
4.14.- Reparación en estructuras contenedoras de agua.....	185
4.15.- Otros.....	187
4.15.1.Reparación de muros que presentan eflorescencia.....	187
4.15.2.Reparación de daños por incendio en las estructuras.....	189
4.15.3.Solución a problemas frecuentes.....	191
4.16.- Secuencia completa de una reparación.....	194

Capítulo 5. Control del curado y apariencia final de las reparaciones.	
5.1.- Apariencia final.....	200
5.2.- Curado del concreto de reparación.....	210
5.3.- Tratamiento de juntas.....	212
5.4.- Acabados.....	215
5.5.- Consideraciones finales.....	217
5.5.1. Mejoras de concreto.....	217
5.5.2. Durabilidad del concreto.....	218
Conclusiones.....	222
Bibliografía.....	225

El deterioro y la conservación de las obras son un motivo constante de preocupaciones, que lleva consigo gastos considerables y causa graves prejuicios a la industria y a los usuarios. Para el ingeniero este problema abarca dos aspectos fundamentales: prevenir y reparar. De las dos consideraciones, prevenir y reparar, la primera tiene mayor importancia. Por lo que es muy importante la necesidad de tener en cuenta, durante las fases del proyecto y de ejecución, el problema de la conservación de las obras. Los detalles aunque pequeños en apariencia pueden tener efectos de consecuencia grave. Es claro que estos tres puntos: calidad de los materiales, calidad de los planos de detalles y calidad de la ejecución, exigen el conocimiento de lo que hay que evitar y de las diversas formas de daño posibles, y de sus causas.

Los tres síntomas principales de daño en una obra de concreto son: las fisuras o grietas, la disgregación o desprendimiento del material, y la desagregación, que se puede definir como una pudrición de toda la superficie, con pérdida de cemento y liberación de áridos. Cada uno de estos síntomas fundamentales es visible y puede ser fácilmente detectado y diferenciado de los demás. Sin embargo cada uno se presenta bajo varias formas que tienen, cada una, su propio significado. Además, en una obra, no sólo pueden aparecer juntos los tres síntomas principales de los daños en estructuras de concreto, sino que también son susceptibles de manifestarse al mismo tiempo sus diferentes formas.

En México, los edificios están enfermos por falta de conciencia de sus propietarios. Además, en el negocio del mantenimiento no existe personal preparado y por lo tanto se olvida buscar, desde un principio, materiales que requieran de un bajo mantenimiento, entre otras causas. Existen innumerables razones por las que se abandona el mantenimiento de los edificios, por ejemplo económicas, sociales, por ignorancia etc.; sin embargo, esta labor se tiene que hacer tarde o temprano y para vigilar su cumplimiento, el Departamento del Distrito Federal exige la llamada Licencia de Seguridad y Operación, que obliga especialmente a los dueños de lugares donde hay una gran concentración de gente, como restaurantes, tiendas de autoservicio, etc., a dar un mantenimiento anual a sus fachadas, instalaciones y servicios.

Por ello es necesario que los gerentes de mantenimiento deben de participar desde el proyecto y desarrollo de la obra, ya que es de primordial importancia saber cómo se diseñó y construyó el edificio que se pretende conservar en buen estado. La mayoría de los gerentes de mantenimiento desconocen lo que es propiamente el esqueleto del edificio y el cómo se hicieron las instalaciones, es decir, tienen a la vista lo exterior, pero no lo interior. La deficiente durabilidad del concreto es un problema nacional serio, cada día más empresas se especializan en la evaluación y reparación del concreto deteriorado, el número de litigios relacionados con concreto en mal estado aumenta, así como los problemas de durabilidad, que son incrementados paulatinamente en la industria de la construcción; muchos de los problemas referidos pueden evitarse, ya conocemos suficiente acerca del concreto para prevenir el deterioro prematuro, pero dicho conocimiento no se pone en práctica. Con la aplicación de los métodos aprobados para producir concreto durable, los diseñadores y contratistas pueden elegir los materiales y métodos necesarios para conseguir estructuras durables.

El refuerzo de elementos estructurales puede conseguirse reemplazando un material pobre o con defectos por un material de mejor calidad, mediante el añadido de un material que colabore en el soporte de la carga, y mediante la redistribución de las solicitaciones a través de deformaciones impuestas al sistema estructural. El nuevo material puede ser concreto de alta calidad, barras de acero y zunchos, tendones postensados o combinaciones de estos materiales.

El problema principal en un refuerzo es conseguir la compatibilidad y la continuidad en el comportamiento estructural entre el material original y el material nuevo. Debemos trabajar con una calidad integral, para un buen funcionamiento y mínima conservación, ya que con ello se pueden alcanzar los grandes objetivos fijados en los planes de desarrollo y que se traducen, en última instancia, en elevar la calidad de vida de los habitantes. El no llevar un control de calidad, trae como consecuencia cuellos de botella locales o regionales, mismos que acarrearán problemas más o menos importantes, pues entorpecen el flujo de las economías. La calidad implica el estricto cumplimiento de las acciones bajo los parámetros clásicos de control de obras que todos conocemos: tiempo-costo-calidad, enmarcados dentro del rubro de seguridad.

El concepto anterior no debe limitarse, por lo generalizado de asociar la calidad con laboratorios, únicamente al cumplimiento de normas y especificaciones, sino en su más amplia acepción del concepto para el cumplimiento del contrato, dentro de lo siguiente:

1.- Tiempo. Suministro total de recursos oportunamente, cumplimiento de plazos, verificación de rendimientos, uso de programas de ruta crítica, etc.

2.- Costo. Análisis del mercado local, condiciones impositivas, entorno económico, vigilancia de la aplicación de los procedimientos de construcción, verificando rendimientos y costo en general de la obra. Cumplimiento del proyecto (materiales, líneas, etc.) vigilando oportunamente que dichos proyectos contemplen el volumen total de la obra, y por último, la aplicación de los precios unitarios pactados.

3.- Calidad. Cumplimiento de todas las especificaciones del proyecto en cuanto a características o normas (ACI, ASTM, NOM. etc.) haciendo uso, para el control de las mismas, de todas las pruebas establecidas.

Los dos primeros parámetros (costo y tiempo), en ocasiones, por necesidades de la obra, pueden ser susceptibles de modificarse o variar, sin embargo debemos pugnar porque esto no ocurra; pero este por ningún motivo debe ser el caso de la calidad, debido a las especificaciones existentes, por lo que siempre debemos ver que la calidad no se cambie para el mal de la obra. El concepto de calidad total o calidad integral se requiere para que las obras cumplan óptimamente para el fin que fueron diseñadas dentro de los parámetros de servicio y funcionalidad. La calidad total o calidad integral debe servir para la prevención y no la corrección. Con el fin de cumplir con el proyecto, y este tenga una calidad total, se utilizan, por lo general, tres tipos de especificaciones para un proyecto: de proyecto, de materiales y de diseño.

Las especificaciones de proyecto, junto con los planos, suministra a los contratistas información completa referente a los requisitos precisos establecidos por el propietario y el ingeniero para la estructura terminada.

Las especificaciones de materiales son establecidas principalmente de copias de la Sociedad Americana para ensaye de Materiales (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS), ASTM, y varias oficinas locales o estatales.

Las especificaciones de diseño son preparadas por asociaciones gubernamentales y profesionales que dictan el criterio mínimo aceptable para diseño. ACI, RCDF, ASTM, NOM, etc.

Aunque una obra se apegue a los estándares del proyecto en cuanto a la resistencia, compacidad, relación a/c, curado y recubrimientos, y estos sean logrados satisfactoriamente; solo se garantiza que la velocidad de degradación no será muy rápida, pero en ningún caso que la durabilidad del concreto armado no será indefinida.

La presente tesis tiene como objetivo principal ser una guía para llevar a cabo la colocación de materiales de reparación en estructuras que se encuentran dañadas, es necesario mencionar que no pretende ser una receta de cocina, sino una guía que facilite al ingeniero la posibilidad de encontrar una solución rápida y eficaz a los problemas que este pudiera encontrar solo la experiencia y capacidad de este será la que determine en cada caso qué método a elegir y los materiales necesarios para lograr la reparación final, garantizando el mejor resultado posible. En el capítulo 1 se describen de manera general los materiales que constituyen el concreto así como el acero de refuerzo; en el capítulo 2 se describe el origen y clasificación de los daños más comunes que se encuentran en las edificaciones que requieren ser reparados.

Conocer la variedad y calidad de los materiales más utilizados para cada tipo de reparación dependiendo las condiciones socioeconómicas y sobre todo el medio ambiente en el que se trabajará, son de mucha importancia; en el capítulo 3 se describen algunos de los principales materiales que pueden ser utilizados según sean las características necesarias para lograr el mejor resultado posible, así como la preparación del área a reparar, que es sin duda el principal factor para lograr el objetivo en calidad, siguiendo entonces y no menos importante la elección correcta del material.

En el capítulo 4 se describen algunos de los métodos más utilizados para la colocación de materiales de reparación en estructuras que se encuentran dañadas, así también las ventajas y algunas recomendaciones para obtener mejores resultados. Sólo como información general y sin adentrarse a los cálculos necesarios para este tipo de reparaciones (que no es el objetivo de este trabajo), se menciona algunos criterios de refuerzo y reestructuración de algunos elementos estructurales y de estructuras contenedoras de agua. Finalmente en el capítulo 5 se dan una serie de recomendaciones para lograr una buena apariencia y tratar de ocultar de la mejor manera las reparaciones hechas en las estructuras sin que estas se noten a simple vista cuidando la estética y armonía con el medio existente.

Capítulo 1. Generalidades sobre concreto.

Objetivo específico:

Describir los aspectos técnicos y control de calidad del concreto.

El concreto en la obra presenta una amplia variedad de texturas y colores y se utiliza para construir muchos tipos de estructuras, como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, pistas de aterrizaje, sistemas de riego y canalización, rompeolas, embarcaderos y muelles, aceras, silos o bodegas, etc.

Otras características favorables del concreto son su resistencia, su bajo costo y su larga duración. Si se mezcla con los materiales adecuados, el concreto puede soportar fuerzas de compresión elevadas. Su resistencia a la tensión es baja, pero reforzándolo con acero y a través de un diseño adecuado se puede lograr una mayor resistencia.

## 1.1 Concreto

Los principales componentes del concreto son cemento, agua y aire, que puede entrar de forma natural y dejar unas pequeñas cavidades o se puede introducir artificialmente en forma de burbujas.

En condiciones normales el concreto se fortalece con el paso del tiempo. La reacción química entre el cemento y el agua que produce el endurecimiento y la compactación de los materiales requiere tiempo. Esta reacción es rápida al principio pero después es mucho más lenta.

Las mezclas de concreto se especifican en forma de relación entre las cantidades de cemento, arena y grava utilizados. Según su aplicación, cambian estas proporciones para conseguir cambios específicos en sus propiedades, sobre todo en cuanto a resistencia y duración. Para obtener concreto de alta resistencia el contenido de agua debe ser bajo, sólo el suficiente para hidratar el concreto. En general, cuanta más agua se añade a la mezcla, más fácil será trabajarla, pero más débil será el concreto cuando se endurezca.

### 1.1.1 Concreto armado

En la mayoría de los trabajos de construcción, el concreto se refuerza con acero; este concreto reforzado se conoce como 'concreto armado'. El acero proporciona la resistencia necesaria cuando la estructura tiene que soportar fuerzas longitudinales elevadas.

Es importante que exista adherencia suficientemente entre el acero de refuerzo y el concreto. Esta adherencia proviene de la rugosidad natural de las corrugaciones poco espaciadas en la superficie de las varillas.

**Concreto presforzado:** Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes de las cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado.

En el concreto presforzado existen dos categorías: pretensado o postensado. Los miembros del concreto pretensado presforzado se producen retirando o tensando los cables entre anclajes externos antes de vaciar el concreto y al endurecerse el concreto fresco, se adhiere al acero. Cuando el concreto alcanza la resistencia requerida, se retira la fuerza presforzante aplicada por gatos, y esa misma fuerza es transmitida por adherencia, del acero al concreto. En el caso de los miembros de concreto postensado, se esfuerzan los cables después de que ha endurecido el concreto y de que se haya alcanzado suficiente resistencia, aplicando la acción de los gatos contra el miembro de concreto mismo.

## 1.2 Cementos

Los cementos son compuestos principalmente de silicatos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta de aspecto similar a una roca. Cuando la pasta se mezcla con los agregados (arena y grava, piedra triturada u otro material granular), actúa como adhesivo y une a todas las partículas del agregado para formar así el concreto.

El cemento se produce al pulverizar el clínker. Que consiste principalmente en silicatos hidráulicos de calcio junto con algunos aluminatos de calcio y aluminoferritos de calcio, además contiene una o más formas de sulfato de calcio (yeso) como adición en la molienda. Los materiales más usados para fabricar cemento deben contener proporciones adecuadas de óxido de calcio, sílice, alúmina y componentes de óxido de hierro.

### 1.2.1 Tipos de cemento

De acuerdo con la norma mexicana NMX – C – 414 – ONNCCE – 1999 los cementos se clasifican de acuerdo con lo especificado en la Tabla 1.2.1:

<b>Tipo</b>	<b>Denominación</b>
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno

Tabla 1.2.1 Tipos de cemento

Los tipos de cemento definidos en la Tabla 1.2.1 pueden presentar una o más características especiales, mismas que se clasifican de acuerdo a la Tabla 1.2.2.

<b>Nomenclatura</b>	<b>Características especiales de los cementos</b>
RS	Resistente a los sulfatos
BRA	Baja Reactividad Alkali agregado
BCH	Bajo Calor de Hidratación
B	Blanco

Tabla 1.2.2 Cementos con características especiales

### 1.2.2 Composición

La composición de los tipos de cemento queda definida de acuerdo con la Tabla 1.2.3:

Tipo	Denominación	Componentes					
		Clínter	Principales				Minoritarios <sup>(2)</sup>
		Pórtland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales puzolánicos <sup>(3)</sup>	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Portland Ordinario	95-100	-	-	-	-	0-5
CPP	Cemento Portland Puzolánico	50-94	-	6-50	-	-	0-5
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno	40-94	6-60	-	-	-	0-5
CPC	Cemento Portland Compuesto <sup>(4)</sup>	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	Cemento Portland con humo de Sílice	90-99	-	-	1-10	-	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno	20-39	61-80	-	-	-	0-5

Tabla 1.2.3 Composición de los cementos<sup>(1)</sup>

- (1) Los valores de la tabla representan el % en masa.
- (2) Los componentes minoritarios deben ser uno o más de los componentes principales, a menos que estén incluidos ya como tales en el cemento.
- (3) Los materiales puzolánicos incluyen: puzolanas naturales, artificiales y/o cenizas volantes.
- (4) El cemento Pórtland compuesto debe llevar como mínimo dos componentes principales, excepto cuando se adicione caliza, ya que ésta puede ser en forma individual en conjunto con clínter + yeso.

### 1.2.3 Clases Resistentes

Los cementos se clasifican por su resistencia mecánica a la compresión en cinco clases resistentes de acuerdo con la Tabla 1.2.4.

Clase resistente	Resistencia a compresión (N/mm <sup>2</sup> )			Tiempo de fraguado (min)		Estabilidad de Volumen en autoclave (%)	
	3 días	28 días		Inicial	Final	Expansión	Contracción
	mínimo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	máximo	máximo
20	-(*)	20	40	45	600	0.80	0.20
30	-(*)	30	50	45	600	0.80	0.20
30 R	20	30	50	45	600	0.80	0.20
40	-(*)	40	-	45	600	0.80	0.20
40 R	30	40	-	45	600	0.80	0.20

Tabla 1.2.4 Especificaciones mecánicas y físicas.

La resistencia normal de un cemento es la resistencia mecánica a la compresión a los 28 días y se indica por las clases resistentes 20, 30 ó 40.

\* La resistencia inicial de un cemento es la resistencia mecánica a la compresión a los 3 días. Para indicar que un tipo de cemento debe de cumplir con una resistencia inicial especificada, se le agrega la letra R después de la clase. Solo se definen valores de resistencia a 30 R y 40 R.

Cuando se requiera que un cemento tenga alguna característica especial, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 1.2.2, este debe cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 1.2.5.

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por ataque de sulfatos (máx %)		Expansión por la reacción álcali agregado (máx %)		Calor de hidratación (máx) kJ/kg (Kcal/kg)		Blancura
		6 meses	1 año	14 días	56 días	7 días	28 días	
RS	Resistencia a los sulfatos	0.05	0.10					
BRA	Baja reactividad álcali agregado			0.020	0.060			
BCH	Bajo calor de hidratación					250 (60)	290 (70)	
B	Blanco							70

Tabla 1.2.5 Especificaciones de los cementos con características especiales

Los cementos se identifican por el tipo y la clase resistente. Si el cemento tiene especificada una resistencia inicial, se añadirá la letra R. En caso de que un cemento tenga alguna de las características especiales señaladas en la Tabla 1.2.2, su designación se completa de acuerdo con la nomenclatura indicada en dicha tabla; de presentar dos o más características especiales, la designación se hace siguiendo el orden descendente de la Tabla 1.2.2, separándolas con una diagonal.

### 1.3 Agregados

Los agregados deben de cumplir ciertas especificaciones para darles un uso óptimo: deben de consistir de partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y adherencia de la pasta de cemento.

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60 a 75% del volumen del concreto y de 70 a 85% en peso.

#### 1.3.1 Agregados finos

El término agregado fino se refiere a un agregado cuya mayor parte pasa a través de una malla con abertura de 5 mm.

En general, aquellos agregados que no tienen una gran diferencia o exceso de cualquier tamaño y tienen una curva granulométrica suave producirán los resultados más satisfactorios.

La granulometría y los límites de esta, se expresan usualmente como el porcentaje de material que pasa por cada malla. Se ajustará a los requisitos señalados en la tabla siguiente:

TAMAÑO DE MALLA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO
9.51 mm (3/8 pulg)	100
4.76 mm (No 4)	95 a 100
2.38 mm (No 8)	80 a 100
1.19 mm (No 16)	50 a 85
596 micras (No 30)	25 a 60
297 micras (No 50)	10 a 30
143 micras (No 100)	2 a 10

Tabla 1.3.1 Granulometría de los agregados finos.

No se retendrá más del 45% de agregado fino entre dos mallas consecutivas de las indicadas en la tabla anterior. Los porcentajes mínimos para el material que pasa por la malla 50 y 100 podrán reducirse de 5 a 0%, respectivamente.

#### 1.3.2 Agregados gruesos

Para una relación agua/cemento dada, la cantidad necesaria de cemento disminuye a medida de que aumenta el tamaño máximo del agregado grueso.

El tamaño máximo de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual todo el agregado debe pasar. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5 al 15% del agregado. En la siguiente tabla se muestran los requisitos que deberá cumplir la granulometría de estos agregados gruesos.

## Capítulo 1. Generalidades sobre concreto

TAMAÑO NOMINAL	10 cm (4")	9.0 cm (3 1/2")	7.6 cm (2 1/2")	6.4 cm (2 1/2")	5.1 cm (2")	3.8 cm (1 1/2")	2.5 cm (1")	1.9 cm (3/4")	1.3 cm (1/2")	1.0 cm (3/8")	4.76 mm No 4	2.38 mm No 8	1.19 mm No 16
9 a 3.8 cm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
6.4 a 3.8 cm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
5.1 a 0.476 cm (2" a No 4)				95 a 100			35 a 70		10 a 30		0 a 5		
3.8 a 0.476 cm (1 1/2" a No 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
2.5 a 0.476 cm (1" a No 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
1.9 a 0.476 cm (3/4" a No 4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
1.3 a 0.476 cm (1/2" a No 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 5	0 a 5	
1 a 0.238 cm (3/8" a No 8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
5.1 a 2.5 cm (2" a 1")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15			0 a 5				
3.8 a 1.9 cm (1 1/2" a 3/4")				100		90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			

Tabla 1.3.2 Granulometría de los agregados gruesos.

Por lo común, el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe sobrepasar:

1. Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
2. Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
3. Un tercio del peralte de la losa.

### 1.3.3 Manejo y almacenamiento

Los agregados deben ser manejados y almacenados de tal forma que la segregación y la degradación sean mínimas y que se evite la contaminación del agregado.

Tanto la arena como el agregado grueso deben descargarse sobre terreno duro y seco. Si en la obra no existe un terreno así, es preferible colocar sobre el área en que serán almacenados los agregados una capa de concreto pobre de 10 cm.

Los agregados que han sido lavados se deben amontonar con suficiente anticipación y con la suficiente pendiente para que drenen hasta conservar un contenido de humedad uniforme. El material fino presenta una menor tendencia a segregarse en estado saturado que en estado seco.

## Capítulo 1. Generalidades sobre concreto

Para evitar la contaminación de los montones de los diferentes agregados se deben usar mamparas o divisiones. Las paredes divisorias entre los compartimientos de los depósitos deben ser lo suficientemente altas para prevenir el entremezclado de los materiales.

Recordar que cualquier cosa que se tire sobre el agregado puede dañarlo. Si hay árboles en la obra, no hay que permitir que las hojas se mezclen con el concreto, pues también lo dañan. Asegurar entonces que las pilas se conserven limpias: si no se va a preparar concreto durante algunos días, conviene cubrirlas con hojas de polietileno.

### 1.4 Agua

Casi toda el agua que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

El agua de la mezcla tiene dos funciones: hace que el concreto sea lo suficientemente trabajable para ser colado y compactado y, al combinarse químicamente con el cemento, produce un material duro y resistente. Sin embargo, para la reacción química, únicamente se requiere alrededor de la mitad del agua; el resto permanece o se evapora gradualmente, a medida que el concreto se endurece, dejando pequeñas cavidades o vacíos, como se les llama comúnmente. Estos vacíos debilitan el concreto, por lo que no debe sorprender que cuanto más agua tiene la mezcla más débil es el concreto; además será menos resistente al intemperismo, especialmente a las heladas, ya que el agua atrapada en los vacíos puede congelarse y finalmente romper el concreto.

Siempre habrá algunos vacíos en el concreto, porque debe utilizarse la cantidad de agua suficiente para que la mezcla sea trabajable y se pueda lograr su compactación total, pero es importante no agregar más agua de la necesaria. Las impurezas excesivas en el agua no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

### 1.5 Acero de refuerzo

El acero de refuerzo es el que se coloca ahogado en la masa de concreto para soportar los esfuerzos generados por cargas, contracción por fraguado y cambios de temperatura.

Recibe el nombre de acero una aleación de hierro y carbono, su contenido de carbono no debe de exceder del 1.7%.

El acero es muy fuerte y dúctil; sin embargo, conforme el contenido de carbono aumenta, el acero se hace más resistente y duro, pero menos dúctil y resistente al impacto.

Los diferentes grados de los aceros al carbono son:

- **Acero suave**, tiene un contenido de carbono menor que 0.1%. Es blando y dúctil y se usa para tubos, barras para remachar, láminas para estampado profundo y prensado.
- **Acero de bajo carbono**. Tienen un contenido de carbono arriba de 0.1% pero menor de 0.35%, es duro y menos dúctil que el acero suave, se usa para secciones estructurales y placas, barras para maquinado y forjado y para fundiciones de acero.
- **Acero de medio carbono**. Tiene un contenido de 0.35 al 0.7% de carbono. Es más duro, resistente y menos dúctil que el acero de bajo carbono, aunque es más fácil de soldar y maquilar.
- **Acero de alto carbono**. Tiene un contenido de 0.7 al 1.5% de carbono. Esta clase de acero es duro y de menor ductilidad que los aceros al bajo carbono y casi siempre llevado a un tratamiento térmico, antes de ser usado.

La mayoría de los aceros usados en la construcción de obras civiles son de bajo carbono o acero suave. contienen de 0.1 a 0.5% de carbono. El acero normalmente empleado en el concreto reforzado tiene la forma de barras de pequeños diámetros y gran longitud, de sección sensiblemente circular, siendo los diámetros mostrados en la tabla siguiente los más comunes.

Diámetro (in)	Diámetro (mm)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Peso (kg/m)
¼	6.4	0.32	0.251
5/16	7.9	0.49	0.389
3/8	9.5	0.71	0.557
½	12.7	1.27	0.996
5/8	15.9	1.99	1.56
¾	19.1	2.87	2.25
1	25.4	5.07	3.975
1 ¼	31.8	7.94	6.225
1 1/2	38.1	11.4	8.938

Tabla 1.5.1 Características de acero de refuerzo

### 1.5.1 Comportamiento del acero inmerso en concreto

Si el ensaye de tensión se realizara con una probeta de concreto armado, teóricamente se deberían distinguir los siguientes periodos:

#### 1) *Alargamiento elástico del concreto y el acero*

Aunque poco, el concreto resiste algo a la tensión (aproximadamente un 10% de la resistencia a la compresión) y se va alargando con el acero. No aparece en él ninguna fisura y si se descarga la probeta, recobra sin daño alguno su longitud inicial. Esta zona en la práctica es extremadamente pequeña.

#### 2) *Ruptura del concreto a tensión y alargamiento elástico del acero*

Alcanzada la carga de ruptura del concreto a tensión, aparecen grietas que van aumentando poco a poco su tamaño. Si se suprime la carga, las grietas se cierran aparentemente y la probeta recobra sensiblemente su longitud anterior. Si entonces se vuelve a cargar, las grietas aparecerán en el mismo sitio, por que una vez roto el concreto, desaparece su capacidad de resistencia a tensión.

#### 3) *Deformación plástica del acero*

Al seguir aumentando la carga las grietas crecen rápidamente, el acero alcanza la zona de los grandes alargamientos y sufre una disminución de sección. En este momento, el acero se despega del concreto, el cual queda prácticamente colgado de los ganchos de las barras. La probeta está ya virtualmente destruida y aunque se descargue, ni se cerrarán las grietas ni recobrará su longitud anterior.

#### 4) *Ruptura de la probeta*

Se producirá por desorganizarse las cabezas de las piezas, que están soportando todo el esfuerzo, o por haber alcanzado las barras la carga de ruptura.

Si el armado fuera muy débil con relación a la sección de concreto, no se presentaría la segunda y tercera fase del proceso señalado; ya que el concreto y el acero alcanzarían casi simultáneamente su tensión máximo de ruptura y la probeta se rompería sin que haya dado tiempo para que se aprecien las grietas.

Si el ensayo se realizara a la compresión en lugar de a la tensión, no aparecerían fisuras por no producirse alargamiento, sino acortamiento, y conforme se vaya acortando la probeta al aumentar la carga, con lo cual la mutua adherencia crecería cada vez más. Mientras ambos materiales estén en la fase elásticas, sus acortamientos serían iguales y soportarían proporcionalmente la carga. Cuando uno de los dos rebasa ese límite, el otro, bruscamente, tendría que soportar una carga para la que no está dimensionado, con lo que, inmediatamente,

también entraría en la fase plástica y la pieza quedará destruida. La ruptura de una pieza a compresión se produce generalmente sin previo aviso, porque prácticamente ambos materiales alcanzan al mismo tiempo la carga de ruptura.

### 1.5.2 Requisitos de ejecución

El acero de refuerzo debe llegar a la obra sin oxidación perjudicial, exento de aceite o grasas, quiebres, escamas, hojeaduras y deformaciones de la sección. El acero de refuerzo deberá almacenarse en cobertizos y clasificado según su tipo de sección, protegiéndose cuidadosamente contra la humedad y alteración química.

Las varillas deberán corresponder a la clase, diámetro y número indicados en los planos de proyecto autorizados. Todo el acero deberá estar sujeto con amarres de alambre recocido o con el tipo de sujeción que se especifique. Los separadores para dar recubrimiento al acero deberán ser cubos de mortero o concreto y silletas de acero o asbesto; para esto no deberán usarse gravas, trozos de madera o pedazos de metal diferente al acero.

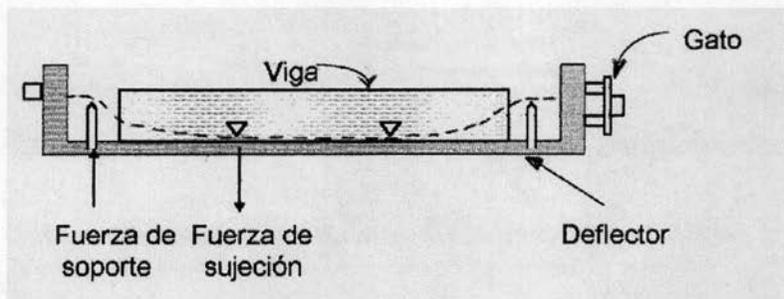
El diámetro del doblé para ganchos estándar, medidos en el interior de la varilla que no se utilice como ganchos de estribos y anillos, no será menor que los valores dados en la siguiente tabla, excepto que en las varillas del número 3 al 11, inclusive, de grado 28 con ganchos de 180° solamente, el diámetro mínimo será de cinco diámetros de la varilla.

NÚMERO DE VARILLAS	DIÁMETRO MÍNIMO, D
3 a 8	6 diámetros de la varilla
9,10 y 11	8 diámetros de la varilla
14 y 18	10 diámetros de la varilla

Tabla 1.5.2 Ganchos estándar en varillas

### 1.5.3 Acero Pretensado y Postensado

#### *Pretensado*



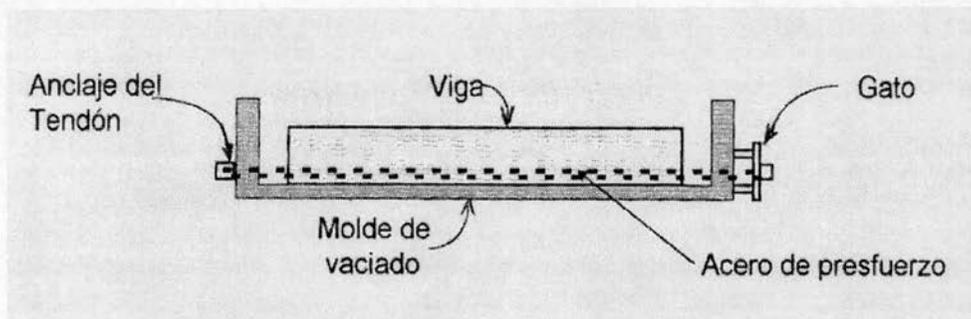


Fig. 1.5.1 Acero pretensado

Los tendones (pueden ser solo cables), generalmente son de cable torcido con varios torones de varios alambres cada uno, se estiran o se tensan entre apoyos. Se mide el alargamiento de los tendones, así como la fuerza de tensión aplicada con los gatos. Con la cimbra en su lugar, se vacía el concreto en torno al tendón esforzado. A menudo se usa concreto de alta resistencia a corto tiempo, a la vez que es curado con vapor de agua, para acelerar el endurecimiento. Después de haberse logrado la resistencia requerida, se libera la presión de los gatos. Los torones tienden a acortarse, pero no lo hacen por estar ligados al concreto por adherencia. En esta forma la fuerza de presfuerzo es transferida al concreto por adherencia, en su mayor parte cerca de los extremos de la viga.

### ***Postensado***

Generalmente se colocan en los moldes de las vigas ductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen el perfil deseado, antes de vaciar el concreto. Los tendones pueden ser alambres paralelos atados en haces, cables torcidos en torones, o varillas de acero. El ducto se amarra con alambres al refuerzo auxiliar de la viga (estribos sin reforzar) para prevenir su desplazamiento accidental, y luego se vacía el concreto. Cuando éste ha adquirido suficiente resistencia, se usa la viga de concreto misma para proporcionar la reacción para el gato de esforzado.

La tensión se evalúa midiendo tanto la presión del gato como la elongación del acero. Los tendones se tensan normalmente todos a la vez ó bien utilizando el gato monotorón. Normalmente se rellenan de mortero los ductos de los tendones después de que éstos han sido esforzados. Se forza el mortero al interior del ducto en uno de los extremos, a alta presión, y se continúa el bombeo hasta que la pasta aparece en el otro extremo del tubo. Cuando se endurece, la pasta une al tendón con la pared interior del ducto.

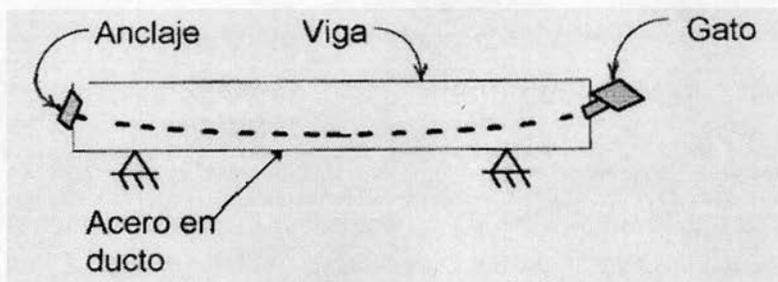


Fig. 1.5.2 Acero postensado

Generalmente se requiere un concreto de mayor resistencia para el trabajo de presforzado que para el reforzado. Un factor por el que es determinante la necesidad de concretos más resistentes, es que el concreto de alta resistencia está menos expuesto a las grietas por contracción que aparecen frecuentemente en el concreto de baja resistencia antes de la aplicación de preesfuerzo.

Es importante seguir todas las recomendaciones y especificaciones de cada proyecto a fin de cumplir con las sollicitaciones requeridas.

## Capítulo 2. Causas y tipos de daño más comunes en estructuras de concreto.

### Objetivo específico:

Analizar el origen y causa de los daños más comunes en estructuras de concreto.

Desde los inicios del empleo de concreto armado, los edificios, obras de arte, carreteras, canales y otras construcciones civiles de concreto armado o pretensado han resistido las más variadas sobrecargas y acciones del medio ambiente.

No obstante el concreto pudiera ser considerado un material prácticamente eterno (siempre que reciba un mantenimiento sistemático y programado), hay construcciones que presentan deterioro de significativa intensidad e incidencia, acompañados de elevados costos para su reparación. Siempre hay compromiso de los aspectos estéticos y en la mayoría de los casos, reducción de la capacidad resistente, pudiéndose llegar en ciertas situaciones, al colapso parcial o total de la estructura.

Ante estas manifestaciones se observa en general una actitud inconsecuente, que conduce en algunos casos a simples reparaciones superficiales, y en otras a demoliciones o refuerzos injustificados. Ninguno de los dos extremos es recomendable, con la existencia hoy en día de gran cantidad de técnicas y productos desarrollados específicamente para solucionar estos problemas.

Considerando el grado actual de conocimiento de los procesos y mecanismos destructivos que actúan sobre las estructuras y considerando la gran evolución tecnológica experimentada en estos últimos años, con el desarrollo de equipos y técnicas de observación de las estructuras, es posible diagnosticar con éxito la mayoría de los problemas que se presentan a lo largo de la vida útil de una estructura.

## 2.1 Causas de Daños

### 2.1.1 Durante la construcción

La utilización de métodos inadecuados o la negligencia pueden afectar, durante una fase cualquiera de la obra, a la calidad del concreto. Este concreto se dañará más fácilmente que aquel elaborado de acuerdo con las normas de calidad, y deberá ser rechazado. Aunque una mala puesta en obra puede ser una puerta abierta a los agentes agresivos, raramente es causa directa de daños, salvo en los casos siguientes:

- a) Asentamientos.
- b) Desplazamientos de la cimbra.
- c) Vibraciones.
- d) Retracción del fraguado del concreto
- e) Descimbrado prematuro.
- f) Mala concepción de los detalles constructivos.
  1. Ángulos entrantes.
  2. Variaciones bruscas de sección.
  3. Juntas rígidas entre las losas prefabricadas.
  4. Deformaciones.
  5. Fugas por las juntas.
  6. Sistema de desagüe mal proyectado.
  7. Drenaje insuficiente
  8. Juego insuficiente de las juntas de dilatación
  9. Tensiones tangenciales no previstas en soportes y contrafuertes.
  10. Incompatibilidad de materiales o secciones.
  11. Efectos de fluencia no previstos.

#### *Efectos térmicos.*

- a) Variaciones de la temperatura atmosférica.
- b) Variaciones de la temperatura interna.

#### *Absorción de agua por el concreto.*

En mayor o menor grado, todo el concreto es poroso. De hecho frecuentemente se comprueba que entre las diferentes partes de una misma obra, construidas con los mismos materiales, por los mismos contratistas, según las mismas normas, algunas están gravemente dañadas mientras que otras están sanas. Esto se debe generalmente a las diferentes cantidades de agua absorbidas por el concreto según sus condiciones de utilización y según su porosidad, que es función de la calidad de ejecución.

#### *Corrosión de las armaduras. (Ver cap. 2.5)*

***Reacciones químicas.***

En general, los síntomas del ataque químico son la degradación, la disgregación superficial y el aumento de espesor de fisuras y juntas. Se produce también una desintegración general de la masa de concreto y un aumento de la masa de concreto y aumento de volumen de la obra. Los áridos se separan y el cemento pierde sus propiedades de conglomerante.

***Erosión (abrasión).***

- a) Losas de pavimentos.
- b) Obras hidráulicas.
- c) Conducciones.
- d) Obras marítimas en zonas de rompientes.

**2.1.2 Errores de proyecto.**

***Errores de concepción***

- a) Tipo estructural inadecuado con respecto al suelo de desplante:
- b) Materiales mal elegidos:
- c) Mala disposición de elementos resistentes:
- d) Disposiciones equivocadas de elementos no resistentes:
- e) Protección insuficiente de los elementos resistentes:
- f) Equivocaciones o errores en la evaluación de solicitaciones:
- g) Equivocaciones o errores en el proceso de cálculo.
- h) Mala transmisión de la idea de proyecto:

***Defectos de los materiales de construcción***

- a) Propiedades y características:
- b) Defectos del material:

***Defectos de ejecución***

- a) Calidad geométrica:
- b) Equipos, herramientas y maquinarias:
- c) Errores de operación:

***Uso de la estructura***

- a) Alteraciones de la estructura:

### **2.1.3 Daños por sismo**

Los terremotos producen distintas consecuencias que afectan a los habitantes de las regiones sísmicas activas. Pueden causar muchas pérdidas de vidas al demoler estructuras como edificios, puentes y presas. También provocan deslizamientos de tierras.

Los sismos son jueces implacables que ponen de manifiesto los errores o las faltas de juicio en el diseño, la construcción o el uso de un edificio, siendo la evidencia de la falla el castigo que impone el desastre a quien juzgó mal. Las pérdidas que se producen por efecto de un sismo son en general altas y ellas aumentan por no tomar las medidas preventivas adecuadas y por el desconocimiento de la forma de reparar. Los daños y las pérdidas de vidas pueden ser mayores en caso de futuros sismos, debido a reparaciones inadecuadas, mal diseñadas o mal ejecutadas.

## 2.2 Clasificación de daños por sismo

La reparación puede consistir en simplemente resanar las fisuras y grietas de un elemento constructivo hasta la complicada tarea de reconstruir totalmente un edificio. Así, dependiendo de la gravedad de los daños estructurales, la reparación puede hacerse en tres niveles:

### ***Restauración (R)***

Es la recuperación de las propiedades originales de resistencia y rigidez de un elemento o estructura; por ejemplo, el empleo de morteros o resinas para unir agrietamientos.

### ***Refuerzo y restauración (RR)***

Es el mejoramiento de las propiedades de resistencia, rigidez y ductilidad de un elemento o estructura; por ejemplo, el aumento de las dimensiones y del acero de refuerzo del elemento.

### ***Reestructuración, refuerzo y restauración (RRR)***

Es la modificación total de las propiedades de resistencia, rigidez y ductilidad de un elemento o estructura; por ejemplo, la demolición total o parcial del elemento y la construcción de otro con materiales y refuerzos diferentes.

### 2.2.1 Clasificación general de daños

Los daños estructurales y los no estructurales podrán clasificarse en los siguientes tres niveles y que corresponderán con los tres niveles de reparación:

#### ***1. Daños menores (DMN)***

Los daños carecen de importancia para la estabilidad, seguridad y funcionalidad de la construcción si y sólo si ésta se restaura (**R**).

#### ***2. Daños mayores locales (DML)***

Los daños estructurales carecen de importancia para la estabilidad, seguridad y funcionalidad de la construcción, si y solo si ésta se restaura y se refuerza localmente y los daños no estructurales se reparan inmediatamente (**RR**).

#### ***3. Daños mayores globales (DMG)***

Los daños afectan a la estabilidad, seguridad y funcionalidad de la construcción y esta debe ser restaurada, reforzada y reestructurada globalmente (**RRR**).

En cuanto a los daños, resulta difícil cuantificar la disminución de la resistencia, rigidez y ductilidad de un elemento estructural. Por lo tanto, se ha elegido definir magnitudes específicas de daños en función de la clasificación general de daños observados, los elementos estructurales y no estructurales de una construcción podrán clasificarse en alguna de las categorías siguientes:

#### 4. *Daño Nulo*

Los elementos de la construcción no sufrieron daños visibles.

#### 5. *Ligeramente Dañado (Ld)*

Los elementos de la construcción prácticamente no requieren reparación.

1) Daños a elementos estructurales.- El edificio se considera dentro de esta categoría cuando sus trabes presentan fisuras (cuarteaduras de no más de 0.5 mm de ancho). La inclinación de estas fisuras con respecto al eje de la trabe puede ser variable, entre 45 y 90 grados, generalmente.

2) Daños a elementos no estructurales.- Fisuras lineales en el aplanado de trabes, columnas, muros y techos, inclusive caída de pedazos pequeños del aplanado, casi sin daños no estructurales.

*Evaluación preliminar.* El edificio no presenta reducción en la capacidad sismo-resistente y no existe riesgos para las vidas humanas.

El edificio prácticamente no requiere reparación y, si se decide hacer, ésta consistirá únicamente en la restauración de los elementos dañados.

#### 6. *Moderadamente Dañado (Md)*

Los elementos de la construcción requieren restauración de daños menores.

#### 7. *Fuertemente Dañado (Fd)*

Los elementos de la construcción necesitan restauración y refuerzo de daños mayores locales.

#### 8. *Severamente Dañado (Sd)*

Los elementos de la construcción requieren restauración, refuerzo y reestructuración de daños mayores globales.

Para elementos de concreto reforzado en particular, el ancho de las cuarteaduras superficiales puede utilizarse como un buen parámetro para definir en forma preliminar la magnitud de los daños.

Cuarteadura	Ancho	Magnitud del daño	Ejemplos de soluciones estructurales posibles del elemento
Fisura	< 0.5 mm	LD	No requiere reparación
Grieta	< 1.0 mm	MD	Reparación con resinas epóxicas
Fractura	< 5.0 mm	FD	Aumento de dimensiones y acero de refuerzo
Dislocación	> 5.0 mm	SD	Demolición y construcción de un elemento nuevo

Tabla2.2.1

### 2.3 Daños en elementos estructurales

Partiendo de la identificación de los daños en elementos estructurales: columnas, muros, trabes, vigas, losas y sus conexiones, los daños pueden ser fisuras, grietas, roturas o derrumbes parciales, y los métodos de refuerzo y reparación que es posible emplear son muy variados, pues el único límite es el ingenio de quien los elabore.

Los daños se han clasificado por tipo de elemento estructural, indicándose también la causa principal de los mismos.

#### 2.3.1 Vigas

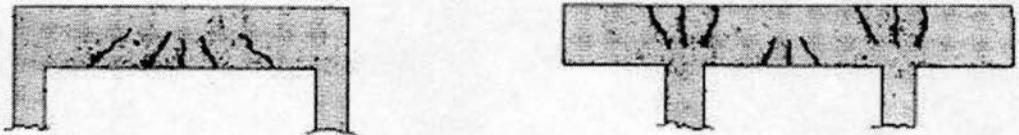


Fig. 2.3.1 Fisuras de flexión

#### Diagnóstico

- Sobrecargas no previstas
- Acero de refuerzo insuficiente
- Anclaje insuficiente
- Acero de refuerzo mal posicionado en el proyecto o en la ejecución

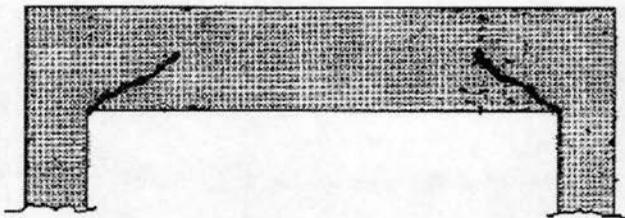


Fig. 2.3.2 Fisuras de cortante

#### Diagnóstico

- Sobrecargas no previstas
- Estribos y anillos insuficientes
- Estribos y anillos mal posicionados en el proyecto o en la ejecución
- Concreto de resistencia inadecuada

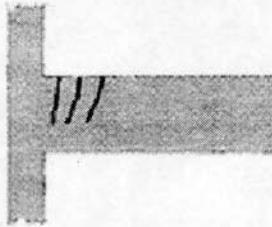


Fig. 2.3.3 Fisuras de flexión en la parte superior (marquesinas, balcones)

Diagnóstico

- Anclaje insuficiente
- Acero de refuerzo mal posicionado en el diseño o en la ejecución
- Sobrecargas no previstas
- Acero de refuerzo insuficiente

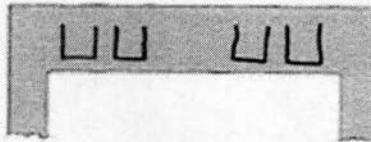


Fig. 2.3.4 Fisuras de flexión y corrimiento del acero de refuerzo

Diagnóstico

- Sobrecargas no previstas
- Mala adherencia del acero de refuerzo con el concreto
- Concreto de resistencia inadecuada
- Anclaje insuficiente

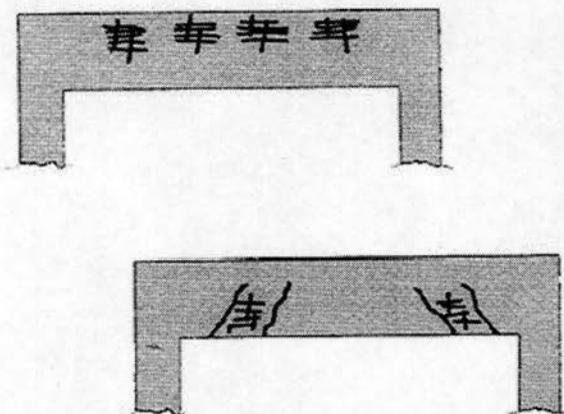


Fig. 2.3.5 Rotura del concreto por compresión

Diagnóstico

- Concreto de resistencia inadecuada
- Sobrecargas no previstas

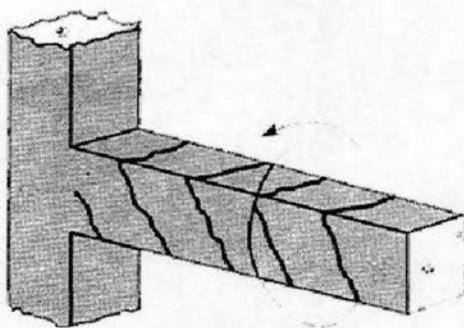


Fig. 2.3.6 Fisuras debido a la torsión

Diagnóstico

- Sobrecargas no previstas
- Acero de refuerzo insuficiente
- Acero de refuerzo mal posicionado en el diseño o en la ejecución
- No consideración de los esfuerzos de torsión

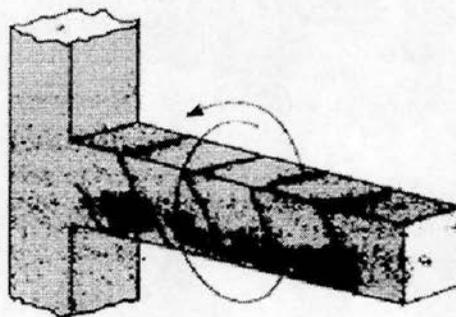


Fig. 2.3.7 Rotura del concreto a compresión debido a la torsión

- Sobrecargas no previstas
- Concreto de resistencia inadecuada
- Sección de concreto insuficiente

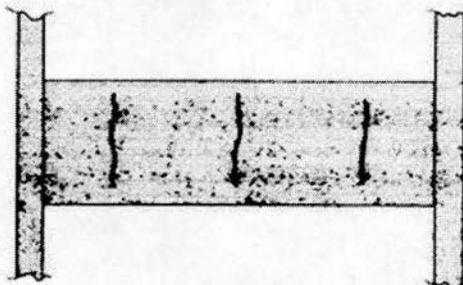


Fig. 2.3.8 Fisuras de contracción hidráulica o de desplazamientos térmicos

#### Diagnóstico

- Secado prematuro del concreto (curado inadecuado)
- Contracción térmica debido a gradientes de temperatura diaria o estacional

### 2.3.2 Columnas

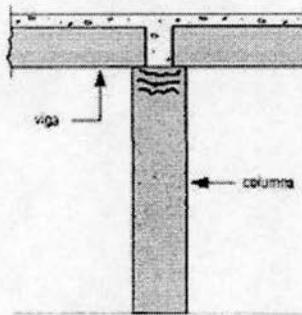


Fig. 2.3.9 Fisuras de asentamiento plástico

#### *Diagnóstico*

- Colado simultáneo de las columnas, vigas y losas
- Mala compactación del concreto
- Concreto muy fluido
- Cimbras no herméticas

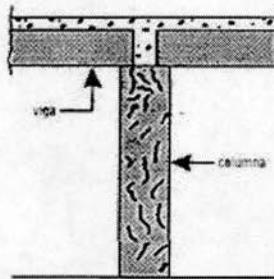


Fig. 2.3.10 Fisuras de fraguado o falso fraguado

#### *Diagnóstico*

- Cemento con exceso de anhidrita (yeso anhidro)
- Demora en la colocación del concreto
- Calor excesivo y humedad relativa baja

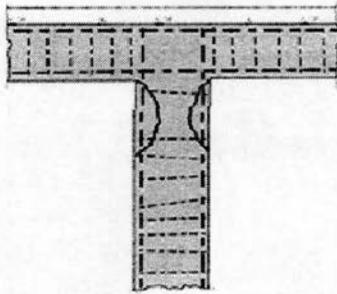


Fig. 2.3.11 Fisuras de junta de colado

*Diagnóstico*

- ❑ Cabeza de columna con exceso de nata de cemento (debido a la exudación) o superficies sucias

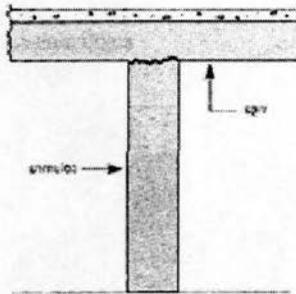


Fig. 2.3.12 Fisuras de compresión localizada o pérdida de estabilidad del acero de refuerzo

*Diagnóstico*

- ❑ Mala colocación o insuficiencia de estribos o anillos
- ❑ Carga superior a la prevista
- ❑ Concreto de resistencia inadecuada
- ❑ Mala compactación del concreto

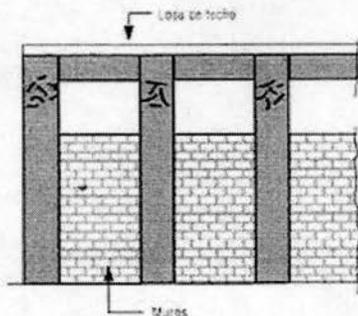


Fig 2.3.13 Fisuras o roturas en la cabeza de columnas cortas

*Diagnóstico*

- Los muros rigidizan las columnas, que no consiguen absorber los movimientos térmicos e hidráulicos de la estructura.

**2.3.3 Conexiones**

Descripción de daños	Causas principales
Cuarteadoras diagonales por cortante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño inadecuado: Acero transversal insuficiente y/o mal detallado</li> <li>• Baja calidad del concreto</li> </ul>
Falla por adherencia del refuerzo de vigas debido a flexión y elementos dislocados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja calidad del concreto</li> <li>• Sobrecargas no previstas</li> <li>• Diseño inadecuado: Acero transversal insuficiente y/o mal detallado</li> <li>• Anclaje del acero longitudinal insuficiente</li> </ul>

Cuadro 2.3.1 Daños en conexiones

**2.3.4 Sistemas de piso (losas)**

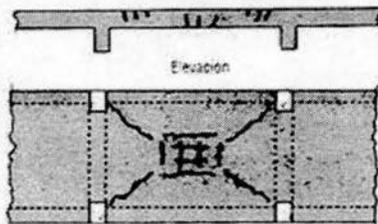


Fig. 2.3.14 Fisuras de fraguado o falso fraguado

*Diagnóstico*

- Acero de refuerzo insuficiente o mal posicionado
- Longitud de anclaje insuficiente
- Descimbrado temprano
- Sobrecargas no previstas



Fig. 2.3.15 Fisuras de flexión en voladizo

*Diagnóstico*

- Acero de refuerzo insuficiente o mal posicionado
- Longitud de anclaje insuficiente
- Descimbrado temprano
- Sobrecargas no previstas

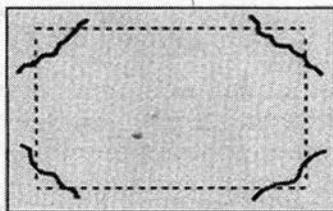


Fig. 2.3.16 Fisuras de momentos torsionantes

*Diagnóstico*

- Acero de refuerzo de borde insuficiente
- Protección térmica insuficiente

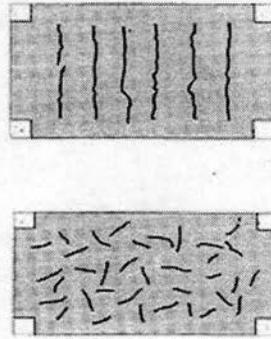


Fig. 2.3.17 Fisuras de contracción hidráulica y térmica

*Diagnóstico*

- Curado insuficiente
- Protección insuficiente
- Exceso de calor de hidratación
- Exceso de agua de mezclado

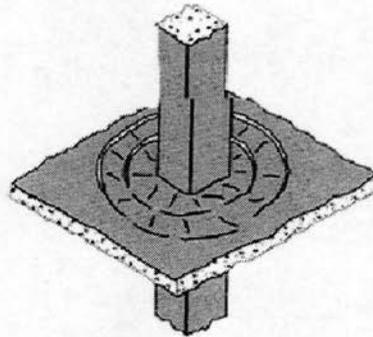


Fig. 2.3.18 Punzonamiento

*Diagnóstico*

- Exceso de carga concentrada
- Losa muy delgada
- Concreto de resistencia inadecuada
- Acero de refuerzo insuficiente
- Acero de refuerzo mal posicionado en el diseño o en la ejecución

### 2.3.5 Muros de carga

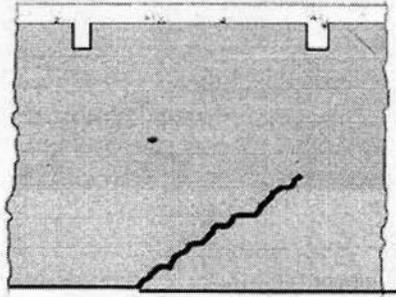


Fig. 2.3.19 Fisuras de asentamiento

#### *Diagnóstico*

- Asentamiento de las cimentaciones y los apoyos
- Acero de refuerzo insuficiente
- Acero de refuerzo mal posicionado en el diseño o en la ejecución

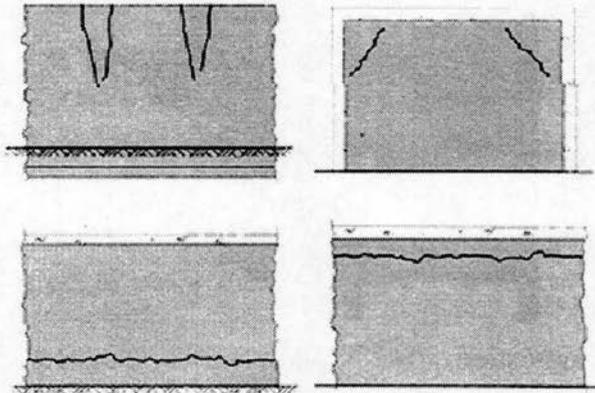


Fig. 2.3.20 Fisuras de contracción hidráulica y térmica

#### *Diagnóstico*

- desplazamiento térmico de la losa
- concreto de resistencia inadecuada
- desplazamiento térmico y contracción hidráulica

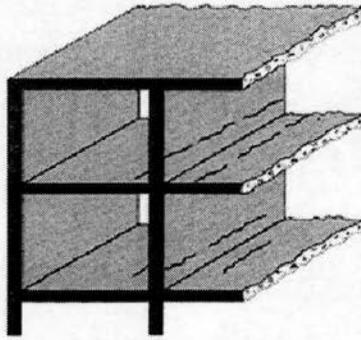


Fig. 2.3.21 Fisuras de flexión

*Diagnóstico*

- ❑ Losa muy flexible en estructuras ejecutadas usando el método constructivo identificado como “tunneling”
- ❑ Juntas de colado mal ejecutadas
- ❑ Acero de refuerzo insuficiente

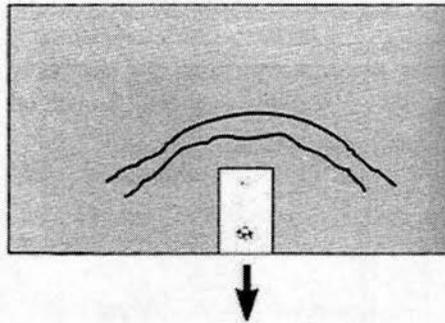


Fig. 2.3.22 Fisuras de tensión

*Diagnóstico*

- ❑ Acero de refuerzo insuficiente para transmitir las cargas concentradas
- ❑ Acero de refuerzo mal posicionado en el proyecto o en la ejecución

### 2.3.6 Puentes y viaductos

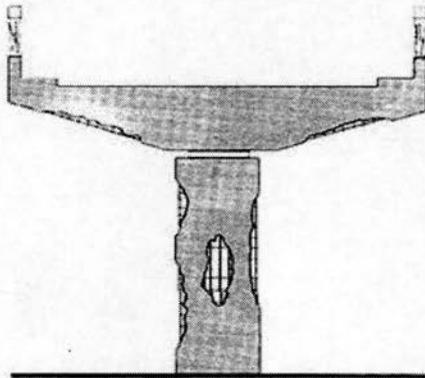


Fig. 2.3.23 Deterioro general

- Corrosión del acero de refuerzo
- Deterioro de las barandas
- Degradación de las juntas de dilatación
- Precolación de agua
- Rotura de cantos en los dientes de Gerber
- Deterioro de los apoyos
- fisuras

#### *Diagnóstico*

- recubrimiento insuficiente
- impactos
- diseño inadecuado
- barandas muy esbeltas
- ausencia de mantenimiento
- posición inadecuada del acero de refuerzo
- sollicitación excesiva

### 2.3.7 Silos y tanques

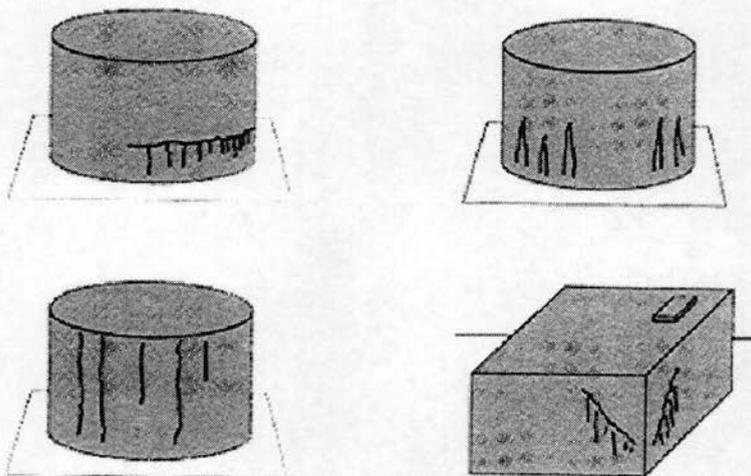


Fig. 2.3.24 Percolación de líquidos y corrosión del acero de refuerzo

#### Diagnóstico

- Tirante o espaciador mal ejecutado
- Junta de colado mal ejecutada
- Oquedades superficiales del colado
- Movimiento térmico diferencial
- Acero de refuerzo insuficiente
- Recubrimiento insuficiente
- Concreto de resistencia inadecuada

### 2.3.8 Estructuras en agua de mar o agua dulce

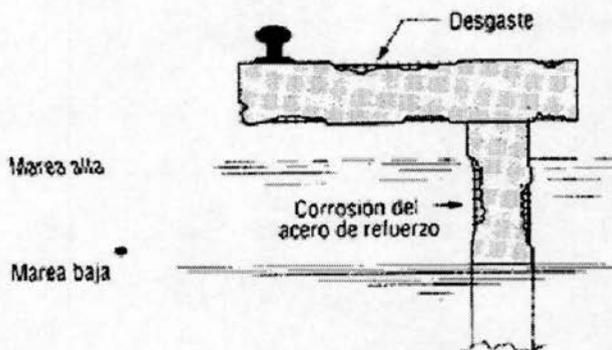


Fig. 2.3.25 Deterioración generalizada

- ❑ Desgaste mecánico
- ❑ Corrosión en los elementos semi-inmersos
- ❑ Rotura de aristas y cantos
- ❑ fisuras

*Diagnóstico*

- ❑ concentración de tensiones en cantos y aristas vivas
- ❑ concreto de alta permeabilidad y/o elevada porosidad
- ❑ mala ejecución
- ❑ recubrimiento insuficiente
- ❑ manipulación de materiales agresivos (abonos, carbón, azufre, etc.)

**2.3.9 Galerías de agua y alcantarillado**

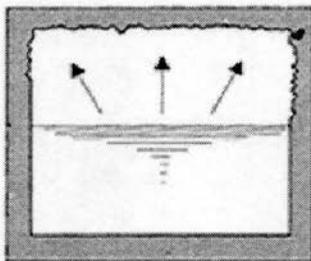


Fig. 2.3.26 Colapso o deterioración acentuada de la parte superior

- ❑ Corrosión del acero de refuerzo
- ❑ Degradación del concreto
- ❑ Ataque de sulfatos

*Diagnóstico*

- ❑ Concreto de resistencia inadecuada
- ❑ Recubrimiento insuficiente
- ❑ Mala ventilación de la tubería
- ❑ Roturas localizadas por acción de cargas excesivas o asentamientos
- ❑ Ausencia de protección

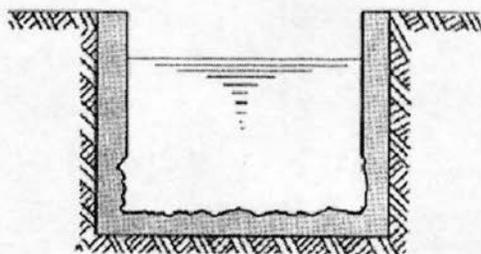


Fig. 2.3.27 Deterioración de la parte inmersa

- Desgaste
- Cavitación
- Concreto de resistencia inadecuada
- Roturas localizadas por acción de cargas excesivas o asentamientos
- Velocidad excesiva del líquido
- Exceso de partículas abrasivas
- Ausencia de protección

### 2.3.10 Edificios industriales

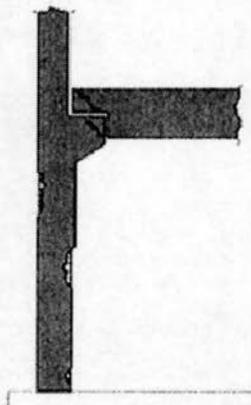


Fig. 2.3.28 Corrosión del acero de refuerzo, fisuras y degradación del concreto

#### *Diagnóstico*

- Concreto de resistencia inadecuada
- Gradientes térmicos
- Cargas dinámicas no consideradas
- Gases y líquidos agresivos
- Mala ejecución
- Mantenimiento insuficiente e inadecuado
- Ausencia de protección

### 2.3.11 Cimentaciones

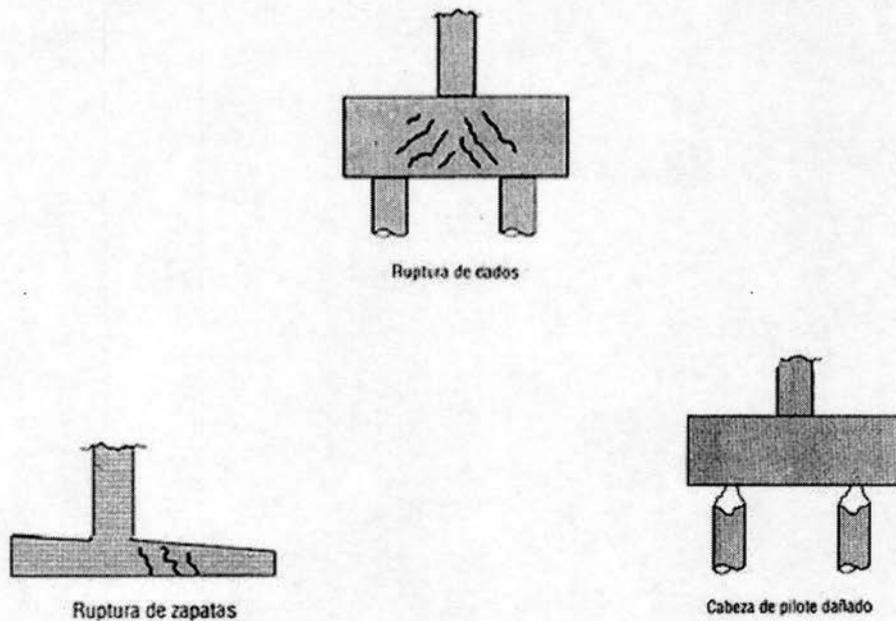


Fig. 2.3.29 Defectos de elementos estructurales de cimentación

#### *Diagnóstico*

- Proyecto inadecuado
- Concreto de resistencia inadecuada
- Mala ejecución

## 2.4 Daños en elementos no estructurales

Podemos considerar a un elemento como no estructural cuando no participa en la resistencia y rigidez global de la estructura. Generalmente a los elementos no estructurales no se les da la importancia que merecen y, como resultado, se ha visto que en cada temblor de cierta magnitud éstos presentan fallas.

Estos elementos pueden influir en el comportamiento dinámico de las estructuras; este cambio en el comportamiento puede dar lugar a fallas de los elementos estructurales y, como consecuencia, poner en peligro la estabilidad global de la estructura.

La presencia de estos elementos provoca aumento de peso en la estructura y, en ocasiones, incremento en la rigidez de la misma cuando se tiene la precaución de desligarbs correctamente cambiando su comportamiento. A veces este cambio provoca un comportamiento desfavorable de la estructura.

Durante un sismo se puede llegar a observar los diferentes casos de comportamiento de una estructura provocados por la liga de los elementos no estructurales, cuyo efecto no fue contemplado en el diseño de la estructura. En algunos casos, los elementos no estructurales provocan excentricidades importantes en planta. En otros casos, los muros ayudan a la estructura a soportar las fuerzas sísmicas aumentando la rigidez y el amortiguamiento, por lo que se forma un sistema con características más favorables.

La reparación de estos elementos se limita simplemente a volver a construirlos, pero con esta medida no se soluciona el problema ya que aún se desconoce la causa de falla y, por lo tanto, se deja al elemento en las mismas condiciones que antes de la falla.

En forma errónea y con la idea de que se va a evitar la falla, se colocan elementos muy rígidos ligados a la estructura, los cuales deben considerarse en el diseño, de lo contrario fallarán éstos o los elementos estructurales adyacentes. Este fenómeno se presenta frecuentemente en pretilos de fachada o muros cortos.

Para evitar daños a estos elementos es indispensable entender el comportamiento de la estructura, e idealizarla correctamente. Si se opta por colocar muros ligados a la estructura se deben considerar lo efectos producidos por estos en la estructura. Si se opta por desligarlos, se deberán calcular los desplazamientos de entrepiso para dejar la holgura suficiente para que la estructura se mueva libremente.

También se ha podido observar que entre menos se desplace una estructura, menos daños en elementos no estructurales tendrá.

Cuando se selecciona la solución de muros desligados se debe de garantizar la estabilidad de estos elementos, diseñándolos de tal forma que no representen un peligro para las personas. Se deberán calcular las fuerzas de diseño de estos elementos considerando los muros como apéndices de la estructura y amplificando sus efectos.

Una opción para solucionar este problema puede ser el uso de muros formados por materiales de mayor capacidad de deformación; por ejemplo, paneles de madera o lámina. La mejor solución, desde el punto de vista estructural, es utilizar materiales de bajo peso y de gran flexibilidad en el caso de no considerarlos como elementos estructurales.

Generalmente los daños a elementos no estructurales se deben a la unión inadecuada de estos elementos con la estructura, o a la falta de rigidez lateral de la misma. Los daños más comunes son:

- a) Aplastamiento de las uniones entre la estructura y los elementos divisorios.
- b) Cuarteamiento diagonal y/o cuarteamiento en los bordes de unión con la estructura de los elementos divisorios de mampostería.
- c) Rotura de vidrios.
- d) Desprendimiento de aplanados, recubrimientos y elementos de fachada.
- e) Desprendimiento de plafones.
- f) Instalaciones diversas parcialmente destruidas, derrumbadas o rotas.
- g) Desajuste de elevadores fuera de sus guías.
- h) Posible caída de muros de relleno exteriores e interiores, anuncios fijados en los muros exteriores y otros.
- i) Cuarteaduras en elementos arquitectónicos.
- j) Cuarteamiento, deslizamiento o caída de techos.
- k) Chimeneas, pórticos o áticos cuarteaduras y caídos.

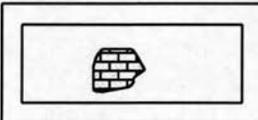
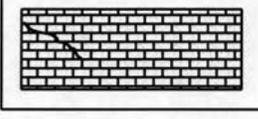
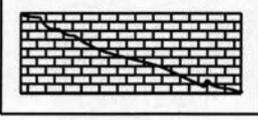
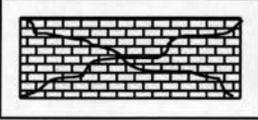
Tipo de falla	Magnitud de daños	Ejemplos de soluciones posibles
	LD	Recubrimiento con yeso o mortero
	MD	Aplanado de mortero cemento:arena, 1:3
	FD	Refuerzo con malla electro soldada 6 x 6/10 x 10 y aplanado de mortero, cemento:arena, 1:3
	SD	Demolición y construcción de un elemento nuevo

Tabla 2.4.1 Tipos de falla en muros de mampostería

## 2.5 Corrosión del acero de refuerzo

Todos los materiales expuestos al ataque de los elementos naturales eventualmente cambian al estado en que son más estables bajo las condiciones que prevalecen. Todos los materiales estructurales metálicos obtenidos a través de procesos partiendo de minerales naturales, tienden a revertirse a su estado original, por un proceso natural que consume calor y energía eléctrica, la cual es generada por el fenómeno de corrosión.

Para que se forme una celda de corrosión en el concreto es necesaria la presencia de un electrolito, que es una solución capaz de conducir la corriente eléctrica por medio de un flujo de iones. Cualquier concreto húmedo contiene suficiente electrolito para conducir una corriente que puede causar corrosión, mientras más seco esté un concreto, menor será su conductividad.

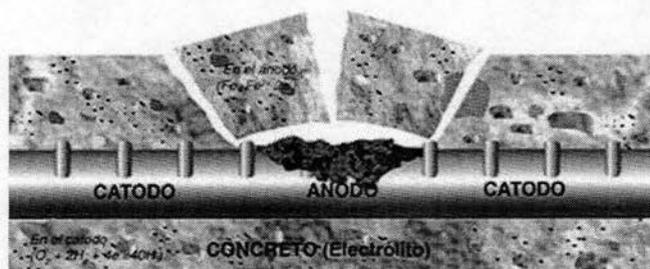


Fig. 2.5.1 Proceso de corrosión en concreto.

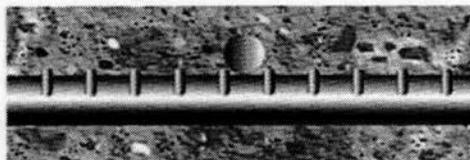
El fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo es causa frecuente de que las estructuras de concreto se deteriores prematuramente, aun cuando el concreto, por su alta alcalinidad con un pH promedio de 12.5 y baja conductividad, suele ser un medio que proporciona buena protección al acero contra la corrosión. Sin embargo, dentro de un esquema de ambiente agresivo, esta protección no es suficientemente eficaz y el fenómeno se produce.

El grado de protección que puede dar un concreto es, con frecuencia, una función de calidad, del espesor del recubrimiento y de seguir buenas prácticas constructivas. La presencia de estos agentes agresivos puede provenir de las mismas adiciones hechas al concreto durante su preparación, durante la preparación con agua que contiene altas concentraciones de cloruros, o bien del medio ambiente externo; ellos se difunden a través del concreto, atacan al metal y producen óxidos con volumen mayor que el metal original, originando con esto grandes presiones internas, suficientes para fracturar el concreto.

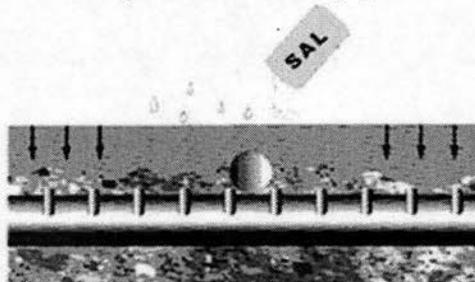
De acuerdo con el análisis anterior, los cloruros y la carbonatación del concreto constituyen los más comunes e importantes agresores químicos en lo que se refiere a la corrosión del acero de refuerzo.

### 2.5.1 Ataque por cloruros

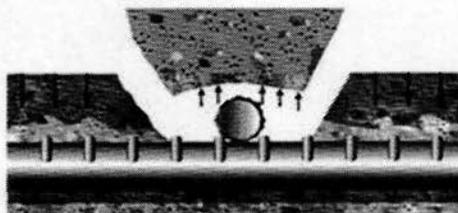
La acción de los cloruros es la destrucción localizada de la película pasivante que protege, en condiciones normales, el acero de refuerzo.



*Penetración de cloruros en el concreto con ayuda de la humedad superficial.*



*La corrosión del refuerzo comienza cuando penetran los cloruros.*



*La penetración adicional de cloruros da lugar a la corrosión adicional, delaminación y desprendimiento.*

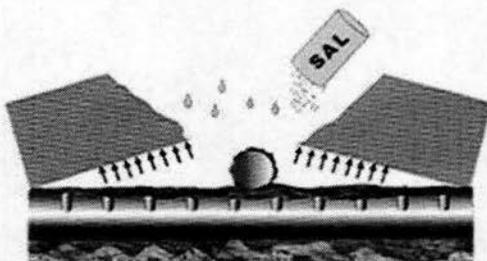


Fig. 2.5.2. Corrosión y deterioro del concreto por ataque de cloruros.

Los cloruros que se encuentran presentes en el agua de mar, la cual contiene además sulfatos, penetran en el concreto por absorción capilar. También se pueden encontrar cloruros en aguas subterráneas, en las aguas residuales y en los efluentes de algunas industrias, así como en plantas de tratamiento y piscinas.

### 2.5.2 Carbonatación

La carbonatación es un fenómeno natural que ocurre todos los días en miles de estructuras de concreto en todo el mundo. En concreto que no contiene acero de refuerzo, la carbonatación es, generalmente, un proceso de pocas consecuencias. Sin embargo, en el concreto reforzado, este proceso químico aparentemente inocuo, avanza lenta y progresivamente hacia adentro desde la superficie expuesta del concreto, y asalta al acero de refuerzo causando la corrosión. Aunque la carbonatación es una causa de la corrosión menos importante que los cloruros, no por ello es menos seria en términos del daño que provoca y del dinero que cuesta remediar sus efectos.

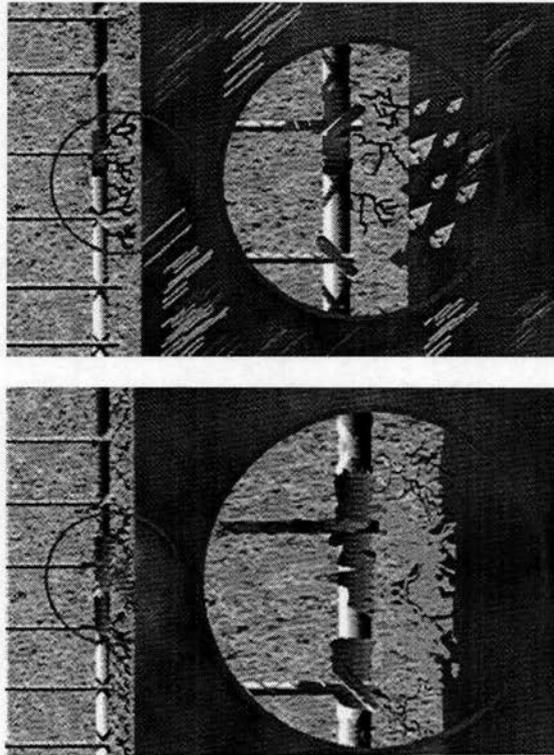


Figura 2.5.3 Ácido Carbónico penetrando en el concreto y facilitando la corrosión.

### 2.5.3 Efectos de la corrosión en estructuras de concreto

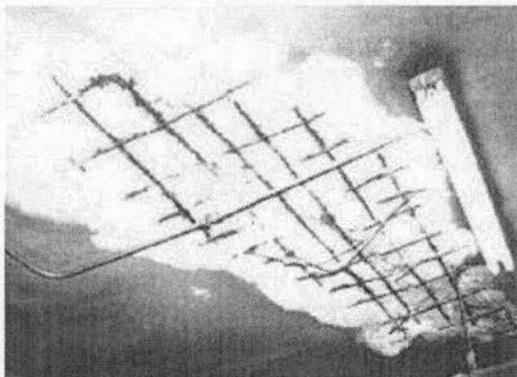


Fig. 2.5.4 Efectos de la corrosión del acero de refuerzo en una losa

En las primeras etapas de la corrosión, se puede observar en los poros de concreto y en agrietamientos superficiales unas manchas causadas por el óxido. El proceso es claramente visible, pues los productos de la corrosión tienen una coloración predominantemente rojizo-pardo-acastañado y, siendo relativamente solubles, se escurren ensuciando la superficie del concreto.

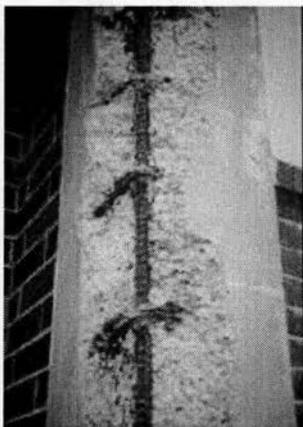


Fig. 2.5.5 Corrosión del acero de refuerzo en una columna

De lo expuesto, surge la necesidad de identificar los problemas que resultan de la corrosión, los cuales son numerosos y muy serios, ya que los efectos se manifiestan sobre los dos componentes del concreto y en el conjunto:

- a) Sobre el acero, con una disminución de su capacidad de soportar cargas mecánicas a causa de la disminución de sección.

- b) Sobre el concreto, al ser los productos de corrosión del acero más voluminosos que sus elementos de partida generan tensiones que pueden agrietar el material..
- c) Sobre la adherencia acero-concreto, debido precisamente a la naturaleza expansiva de los productos de corrosión, lo que puede provocar en el peor de los casos la falla de la estructura.

En casos avanzados en el concreto se pueden formar escamas, pudiendo provocar el paso siguiente, el desprendimiento de las superficies de concreto.

Así mismo, puede suceder que el concreto que rodea a una varilla de refuerzo de sección grande, se agriete como resultado de las fuerzas expansivas originadas por la corrosión, bastante antes de que la pérdida de sección se vuelva crítica desde el punto de vista de las cargas que se le estén aplicando.

Esta fisuración acompaña en general, la dirección del armado principal y más raramente la dirección de los estribos, a no ser que estén en la superficie. Debe considerarse que los estribos están, generalmente en dirección perpendicular al mayor esfuerzo de compresión en el caso de las columnas, lo cual puede impedir la aparición de fisuras profundas en el elemento de concreto. Los estribos en la región central de una viga están expuestos a un mayor riesgo de corrosión, ya que puede agrietarse el concreto en su cara inferior, pero difícilmente lo conseguirán en la zona próxima a los apoyos. Normalmente lo que se puede observar en estribos, es el desprendimiento de las superficies de concreto.

## 2.6 Grietas

Probablemente la reparación de grietas en el concreto sea la más común. Las grietas son causadas por diversos factores. Hay dos clases de grietas: las activas y las inactivas. Una grieta inactiva, como la de la contracción por secado, no tiene probabilidades de cambiar y puede ser ignorada. Las grietas cuya longitud y ancho aumentan, o que presentan movimiento bajo cargas, son consideradas activas. Estas grietas deben ser reparadas tan pronto como se noten, para evitar que su desarrollo genere un serio problema a edades posteriores.

### *Causas*

Desafortunadamente, las grietas son causadas por tantas y tan diversas condiciones, que las razones de su aparición no se pueden determinar fácilmente. Algunas se crean mientras el concreto está en estado plástico o durante el fraguado inicial, como resultado de una o más de las siguientes causas:

1. Asentamiento debido a una superficie de apoyo inestable.
2. Rotura del plano horizontal de la sub-base.
3. Deficiente construcción de las cimbras.
4. Carencia, insuficiencia o impropia colocación del acero de refuerzo.
5. Oxidación del acero de refuerzo.
6. Concreto de elevado revenimiento.
7. Vibración inapropiada o insuficiente.
8. Falta de curado.
9. Cambio de volumen debido al asentamiento de sólidos en el concreto plástico.
10. Intensa vibración del suelo cercano, que puede ser ocasionada por una máquina incadora de pilotes.
11. Descimbrado previo a que el concreto se haya curado lo suficiente.
12. Falto o insuficiencia de juntas de expansión y de control.

La decisión de reparar o no algunas de estas grietas dependen, en cierto grado, del uso subsecuente del área de concreto defectuosa. Una grieta inactiva, en un piso de concreto que va a ser cubierto con mosaico o alfombra, requiere poca o ninguna atención. Si este mismo tipo de grieta aparece en un área exterior, se deberá reparar para evitar que se convierta en activa, bajo condiciones ambientales adversas. Es menos probable que las grietas superficiales interiores, en condiciones normales, se tornen más serias que las grietas exteriores, que están sometidas a mayores cambios de volumen.

### *Grietas por esfuerzos*

Aunque algunas grietas se desarrollan durante el colado del concreto o un poco después, otras aparecen semanas o meses después de que el concreto se ha endurecido. Frecuentemente, estas grietas se deben a cargas aplicadas antes de que el concreto haya ganado la resistencia suficiente para soportar el esfuerzo impuesto.

### 2.6.1 El agrietamiento en prefabricados de concreto

Ninguna de las normas ni tampoco otro tipo de reglamentos hacen referencia alguna a la formación de grietas. Sin embargo, de conformidad con las normas estándar reconocidas en la ingeniería civil se puede evitar en gran medida la formación de grietas en los prefabricados de concreto. Por lo tanto, en la mayor parte de los casos se pueden clasificar como una disminución de la utilidad del concreto. Esto se aplica en general a anchos de grieta de hasta aproximadamente 0.1 mm y/o de menos de 0.2 mm. Sin embargo, una disminución de su valor intrínseco sólo se puede aplicar a grietas más anchas, de la misma manera que para el caso de estructuras de concreto reforzado.

En la literatura, en opinión de los expertos, en los informes, etc., las grietas del mismo tipo que se presentan en los prefabricados de concreto se les conoce frecuentemente con diferentes nombres. Las descripciones se basan en la causa teórica de la formación de las grietas, en el efecto causado por las grietas, en su configuración, magnitud, tiempo en el cual se presentan o circunstancias semejantes. Se pueden mencionar las siguientes descripciones:

- Grietas de expansión (en el caso de prefabricados de concreto sólo se presentan rara vez en presencia de sulfatos).
- Las siguientes cuatro descripciones se utilizan para el mismo tipo de grietas: grietas de contracción, grietas de viento, agrietamiento capilar, agrietamiento superficial (grietas o fisuras finas aleatorias dentro de un patrón).
- Grietas de instalación.
- “Grietas de contracción” que no es el nombre correcto de las grietas que se presentan como resultado de la contracción plástica durante el proceso de colado.
- “Grietas de esfuerzos” (todas las grietas se deben a esfuerzos).
- “Grietas de ruptura” (cualquier grieta es el principio de una ruptura, aunque sea restringida).
- “Grietas de color” (que se suponen se deben a adición de un colorante).

La práctica demuestra una y otra vez que: la formación de grietas se debe en gran medida a múltiples causas.

## 2.7 Problemas más frecuentes que requieren reparación

### 2.7.1 Penetración de agua en los muros

Aunque resulte difícil de creer, la mayoría de los daños que se detectan en la construcción, aparte de aquellos causados por fenómenos naturales como sismos, huracanes, tornados, etc., se deben a la acción de la humedad. A continuación se muestra una visión general

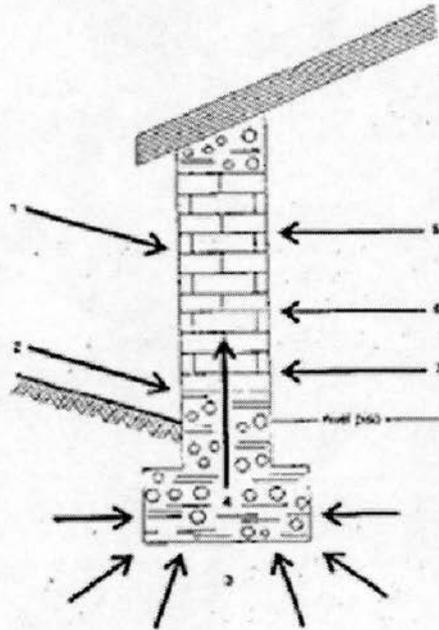


Fig. 2.7.1 Mecanismos de absorción del agua

- Absorción en estado líquido
  - 1.- Aguas de lluvias
  - 2.- Aguas que escurren por una pendiente
  - 3.- Aguas de escurrimiento subterráneo (aguas de infiltración)
  - 4.- Humedad ascendente
- Absorción en estado de vapor de agua
  - 5.- Condensación
  - 6.- Absorción higroscópica
  - 7.- Condensación capilar

La absorción de agua por parte de los materiales de construcción produce en ellos, diversas alteraciones a sus características originales, las que en casos extremos pueden llegar a su destrucción.

Los daños resultantes de al captación de agua y sustancias nocivas por parte de los materiales de construcción, pueden agruparse de la siguiente manera:

*Daños mecánicos:* En este grupo están contemplados todos los daños que conducen a una destrucción mecánica de los materiales de construcción.

*Daños por esponjamiento y contracción del aglomerante:* Al humedecerse, muchos aglomerantes de materiales de construcción tienden a hincharse, para volver más tarde a su volumen normal, una vez que la humedad ha sido eliminada.

Con el paso del tiempo, estos ciclos de esponjamiento y contracción van produciendo el deterioro del aglomerante, con la consiguiente destrucción del material.

*Daños por heladas:* Estos daños son originados por el congelamiento del agua contenida en los poros, la que aumenta su volumen en 11%. Si el 90% del espacio de los poros está ocupado por agua se producen presiones de expansión enormes, que en un gran número de casos no podrán ser soportadas por la estructura interna del material.

*Daños por la acción de sales:* Los daños debidos a efecto de las sales, se producen con mucho mayor frecuencia que aquellos causados por las heladas. Al evaporarse el agua las sales se van depositando en los poros (eflorescencia), en consecuencia, su concentración va aumentando paulatinamente. Al cristalizar, estas sales aumentan su volumen, creándose de esta manera altas presiones expansivas, las que terminan destruyendo la estructura porosa del material.



Fig. 2.7.2 Daños causados por sales en piedras naturales

### ***Procesos destructivos de origen químico***

Bajo este nombre se conocen los daños provocados por la acción de agentes químicos agresivos. Los gases provenientes de la combustión de hidrocarburos destruyen los aglomerantes de los materiales de construcción de origen mineral.

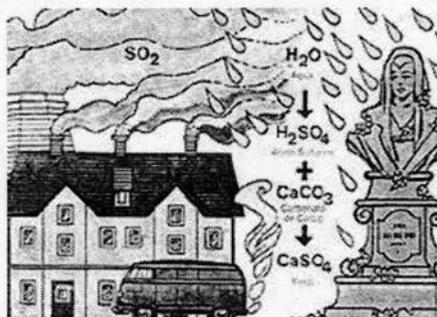


Fig. 2.7.3 Contaminación ambiental provocada por la lluvia ácida

### ***Corrosión biológica***

Al encontrarse constantemente humedecidos, los materiales de construcción son atacados frecuentemente por microorganismos de origen botánico y animal (bacterias, hongos, musgos, algas y líquenes). Estos microorganismos poseen un metabolismo muy activo, cuyos desechos contribuyen a aumentar el contenido de sal en materiales afectados.



Fig. 2.7.4 Ataque de microorganismos

En el interior de las construcciones el fenómeno de la condensación contribuye a activar la corrosión biológica. En las intersecciones de muros y plafones comienzan a observarse los efectos típicos de la acción de los hongos (formación de moho), la que en casos extremos puede afectar la salud de las personas que habitan dichos recintos.

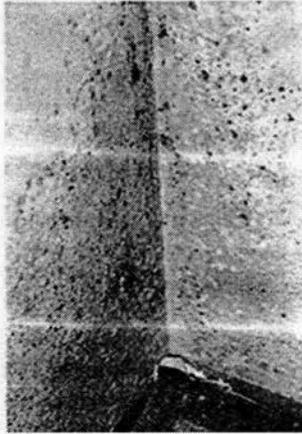


Fig. 2.7.5 Formación de moho provocado por hongos

### 2.7.2 Eflorescencia

Algo que ofende a la vista de los propietarios y causa dolores de cabeza a los contratistas, la *eflorescencia* es un problema común e impredecible. Las sales blancas se depositan sobre la superficie cuando el agua en mampostería se evapora. La mayor parte de la eflorescencia se lava fácilmente, pero un tipo recurrente puede causar filtraciones en las paredes.

La eflorescencia resulta, cuando las sales solubles en las unidades de mampostería o en el mortero se lixivian (se separan las sustancias solubles de las insolubles), hacia la superficie. El agua que penetra la mampostería disuelve las sales.

Más tarde, cuando los muros se secan, la solución salina emigra a la superficie, y el agua se evapora; depositando el agua sobre la superficie de la mampostería.

Para que tenga lugar la eflorescencia, deben existir tres condiciones simultáneamente:

- Estar presentes sales solubles dentro del conjunto de mampostería.
- El agua debe ponerse en contacto con sales para formar una solución.
- La solución salina debe emigrar a la superficie, donde el agua puede evaporarse.

### 2.7.3 Daños por incendio

Los incendios en edificaciones son sucesos que ocurren con cierta frecuencia aún en nuestros días. Las medidas de prevención contra los incendios son cada vez más rigurosas y exigentes, además existen una serie de normas que tratan de reducir al mínimo posible las pérdidas de vidas y bienes materiales a través de disposiciones para protegerlos y detectar o extinguir el incendio. A pesar de ellas, el riesgo de incendios siempre existirá, siendo más

probable en donde abunden materiales combustibles como el caso de edificios industriales o de oficinas.

El concreto reforzado es un material que presenta buenas características de resistencia al ataque al fuego, si lo comparamos con otros materiales de construcción como el acero y la madera, pero esta cualidad es limitada y la conserva un tiempo también limitado que dependerá de varios factores entre los que es decisivo el grado de exposición al fuego (temperatura máxima, tiempo de exposición, cambios de temperatura).

Los edificios de concreto reforzado afectados por incendios de mediana o hasta de gran magnitud sufren serios daños en sus estructuras, pero estos generalmente son recuperables utilizando métodos y técnicas de reparación idóneas para tal fin.

### ***Efectos del fuego en el concreto reforzado***

El concreto reforzado sufre diversas alteraciones en sus propiedades y características cuando es sometido a la acción del fuego. Estas alteraciones van de detrimento de la capacidad y seguridad de la estructura. Entre los efectos más relevantes podemos citar:

- a) Disminución de su resistencia a la compresión
- b) Cambio de color.
- c) Disminución del Módulo de Elasticidad
- d) Desconchamientos
- e) Agrietamientos
- f) Sobreesfuerzos producidos por efectos térmicos
- g) Cambios en las propiedades mecánicas del acero de refuerzo

### ***Efectos indirectos de la acción del fuego***

En muchas ocasiones se detectan síntomas de daños o lesiones en los elementos estructurales que están fuera del área del siniestro, inclusive a veces en un piso superior o inferior, o distantes en un extremo del edificio.

Generalmente estos daños se presentan en elementos que contienen algún defecto constructivo o deficiencia de diseño, los cuales se convierten en puntos vulnerables ante las sollicitaciones causadas por las deformaciones, acumulación de tensiones y cambios volumétricos que sufre la estructura durante el incendio.

### ***Efecto de la utilización de agua fría en la extinción de los incendios***

El deterioro de las propiedades mecánicas del concreto no sólo se debe a la destrucción por calcinación de sus componentes químicos, sino también a la destrucción parcial de ciertas zonas superficiales por fisuras producidas por efecto del choque térmico al que se suele someter a dichas zonas durante la extinción de un incendio con chorros de agua fría.

### Capítulo 3. Consideraciones preliminares y elección de los materiales y productos para la reparación.

#### Objetivo específico:

Analizar y prever las condiciones preliminares para cualquier reparación en concreto así como los materiales para tal efecto.

La calidad y precisión del diagnóstico será la clave fundamental para evitar indeterminaciones en el proyecto de reparación y durante la ejecución de los trabajos. El proyecto debe de realizarse con todo detalle, indicando claramente los procedimientos constructivos para cada caso y sus respectivas especificaciones sobre los materiales, equipos y sistemas de ejecución a ser empleados.

El proyecto de la reparación debe de orientarse a restituirle a los elementos estructurales afectados, al menos, sus condiciones y capacidad que poseían antes de ocurrir el siniestro.

Existe una extensa gama de materiales y sistemas que pueden ser usados para las reparaciones, refuerzo y protección de las estructuras de concreto. Dentro de este grupo, algunos han sido concebidos para el uso conjugado con otros, formando un sistema de reparación o protección, como por ejemplo ciertos primer que actúan como puente de adherencia o protección del acero de refuerzo y algunos morteros para juntas.

La cantidad de materiales desarrollados es muy grande y constantemente aparecen nuevos productos, en un mercado francamente en expansión, que en los últimos 20 años creció en los Estados Unidos a una tasa de 30 a 50 % mayor que el crecimiento de las nuevas construcciones en ese mismo periodo.

### 3.1 Antecedentes

La ilimitada selección de productos disponibles para la reparación hace que sea más importante elegir el más adecuado para cada problema en particular. Estos productos se venden en una amplia gama de precios y no siempre es necesario comprar el producto más costoso, si uno de menor precio puede resolver el problema. La elección de los materiales que se van a emplear para la reparación depende no sólo de la naturaleza particular del problema, sino también de la función de la estructura, la disponibilidad de equipo y mano de obra calificada, la importancia relativa del aspecto y, por supuesto, de los fondos disponibles para la reparación.

El tiempo que pueda mantenerse en servicio un área reparada depende del tipo de exposición a la que sea sometida. Así mismo, la ubicación del problema determinará, en alto grado, qué producto ofrece los mejores resultados.

Antes de seleccionar un producto en particular, se debe dar respuesta a varios cuestionamientos, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

- ¿Cuáles son los requisitos clave de comportamiento? ¿Necesita un producto por sus características de impermeabilización, resistencia al ataque de productos químicos, facilidad de limpieza, cualidades estéticas o eléctricas?
- ¿Cuál es la condición superficial existente? Si la superficie está en bastante buenas condiciones, tal vez todo lo que se requiera sea un simple método de preparación con un mínimo de perfilamiento de la superficie, seguido por la aplicación de un sistema más delgado de membranas. El concreto que presenta mayores daños puede necesitar una reparación más completa y profunda y un sistema más grueso de membranas.
- En caso de reparación, ¿por qué falló la instalación original?. Se necesita asegurar el resolver el problema desde su misma raíz y no solo tratar el síntoma.
- ¿Cuáles son algunas de las condiciones de la instalación?. Algunos de los aspectos que se deben de revisar son horizontal vs. vertical, interior vs. exterior, concreto nuevo vs. viejo, y la temperatura durante y después de la instalación.
- ¿Cuál es el acabado que se desea?, ¿Se busca un determinado decorativo o uno funcional?, ¿Desea un acabado liso (fácil de limpiar) o uno texturizado (antiderrapante).
- ¿Son de preocupar los olores durante la aplicación?. Con el uso de un sistema a base de agua o de 100% de sólidos se puede ayudar a eliminar este problema.
- ¿Cuál es el costo en comparación con su esperanza de vida?.

Cuando ya está todo dicho y hecho, la clave para lograr una aplicación de alta calidad de un sellador, recubrimiento o membrana se apoya en tres etapas:

- Una buena preparación
- Empleo del producto adecuado
- Aplicación correcta por un contratista experimentado

Si se siguen estos tres pasos, se podrá lograr una instalación de larga duración.

### 3.1.1 Refuerzos temporales

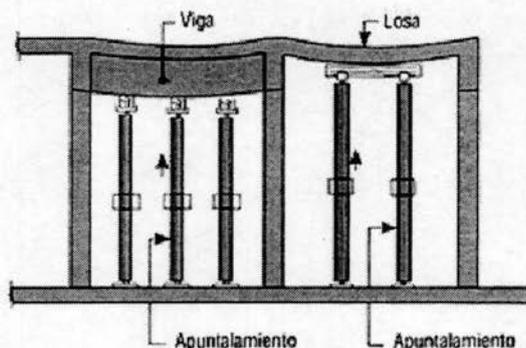


Fig. 3.1.1 Las vigas y losas deben ser apuntaladas y acañadas evitándose no forzarlas mucho para devolverlas a su posición original

Puede necesitarse un refuerzo temporal durante algunas fases de trabajos de reparación. Así, cuando hay un fallo serio en un elemento estructural el área defectuosa debe apearse cuidadosamente y, a ser posible, deben de evitarse sobrecargas. Siempre es recomendable extender el apeo del área defectuosa a todos los niveles de la estructura, para conseguir así una reducción de tensión cortante en las secciones cercanas al elemento defectuoso y una mejor transferencia de carga a los miembros no defectuosos y a la cimentación.

Para un refuerzo provisional se consideran deseables las características que se detallan a continuación:

- a) Rapidez de instalación
- b) Ejecución con materiales fácilmente disponibles
- c) Que se pueda instalar por operarios de experiencia media
- d) Que sea fácilmente desmontable

El refuerzo temporal generalmente no requiere los mismos criterios de durabilidad, estética, protección contra el fuego, etc., que las estructuras permanentes. Las normas de seguridad, sin embargo, son básicamente las mismas, lo cual implica que los coeficientes de seguridad tengan que ser los mismos, dado el corto plazo de funcionamiento comparado con el de una estructura permanente.

### 3.2 Preparación del área a reparar

Los procedimientos de limpieza y preparación del área que se va a reparar son tan importantes que se considera responsables del 50 % o más de una recuperación o refuerzo, también se considera que una preparación y limpieza inadecuadas pueden comprometer integralmente (100 %) una reparación o refuerzo, independientemente de la calidad e idoneidad de los materiales y sistemas que se utilicen.

En todos los casos en que se reparan superficies de concreto son de gran importancia para la durabilidad de la reparación las condiciones de la superficie existente. La durabilidad puede quedar seriamente comprometida si hay poca adherencia entre el concreto nuevo y el viejo. Por lo tanto, es importante que la superficie de contacto sea de un concreto sano y que todo el elemento extraño, que pueda afectar o perjudicar la reparación, sea eliminado. En general, todo concreto dañado o fracturado debe ser eliminado hasta lograr una superficie saneada que, a su vez, debe ser convenientemente tratada.

Hay varios métodos apropiados para esta reparación de la superficie:

- Métodos mecánicos
- Métodos térmicos
- Métodos Químicos

a) Métodos mecánicos: En general, es preferible usar medios mecánicos antes que manuales. Los primeros son más eficaces, más fiables y se realizan a mayor velocidad. Sin embargo, el polvo, el ruido y las vibraciones generadas por este método no son deseables y en algunos casos puede no estar permitidos.

b) Métodos térmicos: En los métodos térmicos la superficie de concreto se calienta a 1500 °C con una llama de oxiacetileno de 3500 °C, lo que produce un choque térmico. Este choque térmico, a causa del intenso gradiente de temperatura según la perpendicular a la superficie del concreto y los diferentes coeficientes de dilatación térmica de los áridos y el cemento, produce tensiones residuales muy altas que provocan desconchamientos en la superficie del concreto.

c) Métodos químicos: En materia de métodos químicos se debe de establecer una diferencia entre la eliminación del concreto y su refuerzo. Se utilizan ácidos o álcalis para la eliminación de capas de concreto. Los ácidos no deben usarse para concretos armados o pretensados debido al riesgo de corrosión. Existe el riesgo de dañar la salud de los operarios a largo plazo. Por lo tanto y debido a estos riesgos, estos métodos no son recomendables.

#### 3.2.1 Eliminación de la contaminación de cloruros

Si los elementos de una estructura de concreto armado tienen un alto contenido de cloruros, se corre el riesgo de corrosión. El problema es cómo eliminar esta

contaminación. No existe, en el estado actual de conocimientos, ningún método prometedor de transformación de los cloruros que han penetrado en componentes insolubles para desactivar su potencial capacidad de corrosión. Los métodos actuales para la eliminación de los cloruros son: tratamiento con agua; tratamientos con lechada de cal; electro-ósmosis; y la eliminación mecánica de la capa contaminada.

a) Tratamiento con agua: El tratamiento con agua se basa en el transporte de los cloruros por el agua. En este tratamiento, se confía en que el flujo de agua arrastre los cloruros mediante la corriente de agua y la propia disolución.

b) Lechada de cal: Se emplea la lechada de cal porque la cal es capaz de aglomerar los cloruros. Aplicando una lechada de cal sobre la superficie contaminada o situando una pasta de cal sobre la superficie del concreto se produce un gradiente de concentración que provoca la salida de cloruros del concreto.

c) Electro-ósmosis: En el campo eléctrico los iones, como partículas cargadas eléctricamente que son, tienen la particularidad de moverse hacia los electrodos de signo contrario. En este procedimiento las armaduras se polarizan como cátodo. El ánodo es una parrilla metálica que se coloca sobre la superficie de los elementos cubiertos con un electrolito. Para evitar el gas de cloro que se forma en el ánodo se mezcla un ion de resina con el electrolito. Ánodos formados por parrillas de cobre tienen el mismo efecto (se forman sales de cobre).

En las primeras aplicaciones, los voltajes usados han llegado a los 220 V. Bajo la influencia del campo eléctrico los iones de cloro se mueven en el electrolito; esto significa que el contenido de cloro en el recubrimiento del concreto disminuye. Se ha detectado un aumento de cloruros detrás de las barras de armado. Después de eliminar el campo eléctrico se produce una redistribución de cloruros que tiende a eliminar las diferencias en la concentración

### **3.2.2 Preparación del sustrato**

La preparación del sustrato es entendida como un conjunto de procedimientos realizados antes de la limpieza y la aplicación de los materiales y productos de corrección, o sea son los tratamientos previos de la superficie de los elementos estructurales.

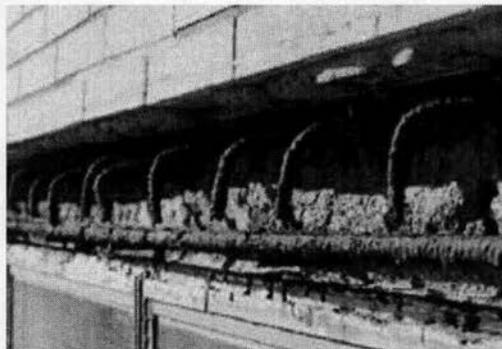


Fig. 3.2.1 Limpieza y preparación del área a reparar

Procedimiento	Procedimiento más adecuado para			
	Concreto con superficie		Acero con superficie	
	seca	húmeda	Seca	húmeda
Escarificación manual	adecuado	adecuado	inadecuado	inadecuado
Disco de desbaste	aceptable	adecuado	aceptable	aceptable
Escarificación mecánica	adecuado	adecuado	inadecuado	inadecuado
Demolición	adecuado	adecuado	inadecuado	inadecuado
Lijado manual	inadecuado	aceptable	adecuado	aceptable
Lijado eléctrico	adecuado	aceptable	adecuado	aceptable
Cepillado manual	adecuado	aceptable	adecuado	aceptable
Pistola de aguja	inadecuado	inadecuado	adecuado	adecuado
Chorro de arena, seca o húmeda	Adecuado	adecuado	adecuado	
Disco de corte	aceptable	adecuado	adecuado	adecuado
Quema controlada	adecuado	inadecuado	inadecuado	inadecuado
Remoción de aceites y grasas impregnadas	inadecuado	adecuado	inadecuado	adecuado
Máquina de desgaste superficial	aceptable	adecuado	inadecuado	inadecuado

Tabla 3.2.1 Procedimientos de reparación del sustrato

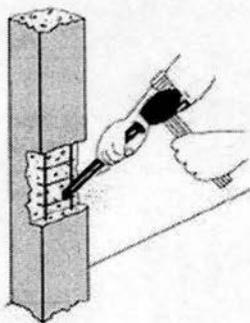


Fig. 3.2.2 Escarificación manual

*Usos más comunes:* Preparación de pequeñas superficies y locales de difícil acceso para equipos mayores. Repicado de las superficies.

*Equipo:* Puntero, cincel y mazo.

*Procedimiento:* Escarificación de afuera para dentro, evitando golpes que puedan astillar las aristas y contornos de la región que se trata. Retirar todo el material suelto, mal compactado y segregado hasta llegar al concreto sano, obteniendo una superficie rugosa y cohesiva, que propicie buenas condiciones de adherencia. Se debe prever apuntalamiento adecuado, cuando sea necesario.

*Ventajas:* Poco ruido y ausencia de polvo excesivo, además no exige instalaciones específicas de agua o energía, ni mano de obra especializada.

*Desventajas:* Baja productividad, uso limitado. Después de la escarificación es necesario efectuar limpieza preferiblemente con aire comprimido para remover el polvo. Requiere de cuidados para no comprometer la estructura.

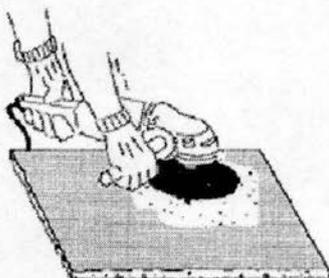


Fig. 3.2.3 Disco de desbaste

*Usos más comunes:* Preparación y desbaste de grandes superficies.

*Equipo:* Pulidora industrial con disco, adecuado para desbaste de pisos, húmedo o seco.

*Procedimiento:* Aplicar el disco con lija sobre la superficie aprovechando el peso propio del equipo. Efectuar el desbaste en capas cruzadas a  $90^{\circ}$ . Desbastar en cada vez, un espesor pequeño, manteniendo la uniformidad del espesor en toda la superficie.

*Ventajas:* Alta productividad

*Desventajas:* Requiere mano de obra especializada

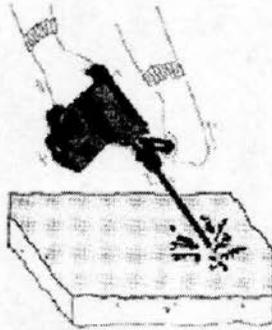


Fig. 3.2.4 Escarificación mecánica

*Usos más comunes:* Preparación de grandes superficies, repicado.

*Equipo:* Rebaje electromecánico o máquina de desbaste (para pisos)

*Procedimiento:* Escarificar de afuera para dentro para evitar astillar las orillas y cantos. En las superficies planas, remover la nata superficial y procurar crear la rugosidad debida en el concreto. Retirar todo el material suelto, mal compactado y segregado hasta llegar al concreto sano. Se debe prever el apuntalamiento adecuado cuando sea necesario.

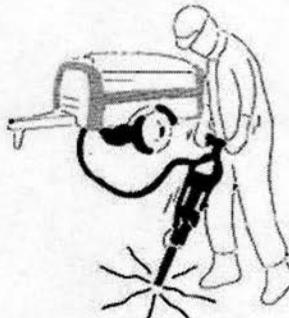


Fig. 3.2.5 Demolición

*Usos más comunes:* Preparación de grandes superficies, demoliciones.

*Equipo:* Martillo neumático (20 kg) o electromecánico.

*Procedimiento:* Retirar todo el material suelto, mal compactado y segregado hasta llegar al concreto sano. Se debe prever apuntalamiento adecuado.

*Ventajas:* Permite el uso de varios martillos acoplados al mismo compresor (en el caso de los martillos neumáticos). Alto rendimiento en la preparación.

*Desventajas:* Requiere de cuidados para no comprometer la estructura existente. La demolición no es adecuada para elementos estructurales esbeltos. Necesita de mano de obra especializada.

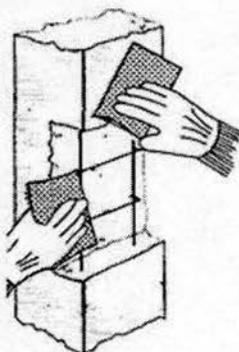


Fig. 3.2.6 Lijado Manual

*Usos más comunes:* Preparación de pequeñas superficies, lijado de barras de acero.

*Equipo:* Lija de agua para concreto o lija de hierro para acero.

*Procedimiento:* Pasar la lija en movimientos circulares y enérgicos sobre la superficie. En el caso del acero, intentar obtener un color metálico, denominado estado de “metal casi blanco”. Toda la capa de óxido de laminación y los productos de la corrosión deberán ser removidos, de modo que el metal apenas presente pequeñas manchas en la superficie. Después de la limpieza, 95 % de cada área de 9 cm<sup>2</sup> deberán estar libres de residuos visibles y presentar coloración gris clara.

*Ventajas:* No precisa de equipos pesados

*Desventajas:* Baja productividad y exige un control cuidadoso (inspección).

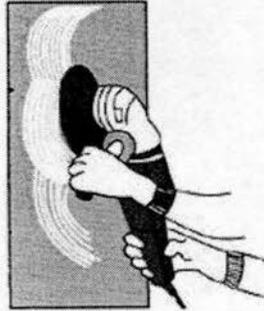


Fig. 3.2.7 Lijado eléctrico

*Usos más comunes:* Superficies de concreto o placas de acero.

*Equipo:* Disco de lija acoplado a una lijadora electromecánica con adecuada protección.

*Procedimiento:* Mantener la lija paralela a la superficie que se está tratando, procurando hacer movimientos circulares.

*Ventajas:* Remueve las impurezas existentes en la superficie del concreto, abre y limpia los poros. Remueve la capa de óxido de laminación y la costra de corrosión superficial de las placas metálicas. Permite remover las eflorescencias y regular las superficies del concreto. Alto rendimiento en la preparación.

*Desventajas:* Produce gran cantidad de polvo, contaminando el ambiente circundante, los trabajadores necesitan usar máscaras antipolvo.

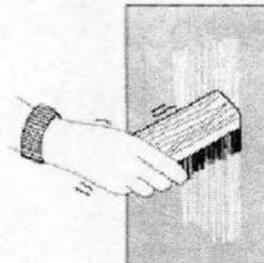


Fig. 3.2.8 Cepillado manual

*Usos más comunes:* Preparación de superficies de pequeñas dimensiones en áreas de fácil acceso y remoción de productos de la corrosión incrustados en las barras.

*Equipo:* Cepillo de cerdas de acero

*Procedimiento:* Cepillar la superficie hasta la completa remoción de partículas sueltas o cualquier otro material indeseable.

### Capítulo 3. Consideraciones preliminares y elección de los materiales y productos para la reparación.

*Ventajas:* Fácil acceso y manipulación, no requiere de mano de obra especializada ni instalaciones especiales. En contacto con el acero de refuerzo, retira los productos de la corrosión desde que el cepillo sea aplicado de forma enérgica y eficiente.

*Desventajas:* Baja productividad, uso limitado.

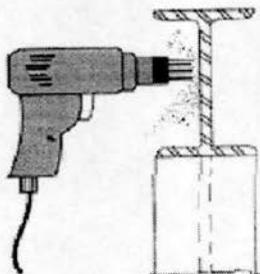


Fig. 3.2.9 Pistola de agujas

*Usos más comunes:* Limpieza de superficies metálicas, retiro de corrosión y pinturas.

*Equipo:* Pistola electromecánica

*Procedimiento:* Colocar la pistola en contacto con el acero de refuerzo o placa metálica hasta que sea retirada toda la capa de corrosión o la pintura. Se debe de tomar cuidado para evitar que el equipo entre en contacto con el concreto.

*Ventajas:* Remueve los productos de la corrosión (óxidos) del acero de refuerzo, dejando la superficie en la condición de "metal blanco". Toda la capa de laminación y los productos de la corrosión deberán ser removidos, de modo que el metal presente la superficie totalmente libre de residuos visibles. Después de la limpieza, la superficie deberá presentar coloración gris clara uniforme.

*Desventajas:* Se corre el riesgo de dañar las agujas cuando estas entran en contacto con el concreto.

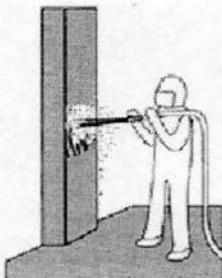


Fig. 3.2.10 Chorro de arena seca o húmeda

### Capítulo 3. Consideraciones preliminares y elección de los materiales y productos para la reparación.

*Usos más comunes:* Preparación de grandes áreas y locales angulosos.

*Equipo:* Compresor de aire, equipo de chorro de arena, abrasivo (arena), manguera de alta presión, salida direccional y, eventualmente agua. La arena utilizada debe tener una granulometría adecuada, debe ser lavada, sin contener materia orgánica y tiene que estar seca en el momento de la utilización. La arena usada en los trabajos no es reutilizable. En el caso de chorros de arena y agua, el agua proveniente de un tanque o de la red pública debe ser sometida a presión por una bomba y conducida a un adaptador por una manguera de alta presión.

*Procedimiento:* Mantener la salida del chorro en posición ortogonal con relación a la superficie de aplicación. Se debe de mover constantemente en círculos, distribuyendo uniformemente el chorro para una mejor remoción de todos los residuos que puedan perjudicar la adherencia.

*Ventajas:* Prepara las superficies que serán recuperadas o reforzadas, eliminando todas las partículas sueltas, removiendo todo material que pueda afectar la adherencia de la capa protectora.

Permite la limpieza del acero de refuerzo, removiendo los productos de la corrosión que se forman en su superficie. En caso de usar chorro húmedo se reduce la cantidad de polvo, ya que cada partícula queda envuelta en una película de agua.

*Desventajas:* Provoca alto grado de suciedad y polvo en el ambiente (en el caso de chorro seco). No remueve fracciones con espesor mayor de 3 mm y, en ciertos casos, precisa escarificación previa. Después de la utilización del chorro seco, es necesario proceder a la limpieza de toda la superficie con aire comprimido.

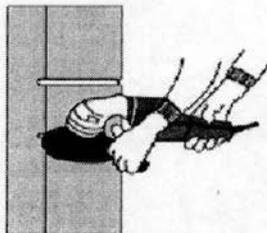


Fig. 3.2.11 Disco de corte

*Usos más comunes:* Retiro de rebabas, delimitación del contorno del área a ser reparada, abertura de surcos - ranuras para tratamiento de fisuras.

*Equipo:* Máquina de corte dotada de disco diamantado.

*Procedimiento:* Mantener el disco en posición ortogonal con relación a la superficie. Antes de iniciar, demarcar con lápiz de cera o equivalente, el contorno del servicio a ser ejecutado.

### Capítulo 3. Consideraciones preliminares y elección de los materiales y productos para la reparación.

*Desventajas:* Requiere el uso de mano de obra especializada y accesorios adecuados. Dificultades en el acceso del equipo a algunas regiones específicas. Requiere cuidados con relación al control del espesor de corte para no dañar estribos o anillos, ni acero de refuerzo.

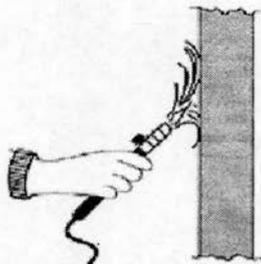


Fig. 3.2.12 Quema controlada

*Usos más comunes:* Preparación de áreas donde no hay acero de refuerzo expuesto o cuando el espesor del recubrimiento fuera superior a 30mm.

*Equipo:* Soplete.

*Procedimiento:* Dirigir la actuación de la quema de tal forma que facilite la retirada de capas de concreto disgregado. Procurar no actuar mucho tiempo en la misma región para no calentar mucho la superficie de las regiones sanas, las que pueden ser dañadas.

*Ventajas:* Disgrega el concreto en capas de espesor de 5 mm, eliminando impurezas orgánicas como grasas, aceites y pinturas.

*Desventajas:* Exige mano de obra especializada y control cuidadoso durante la ejecución (inspección).

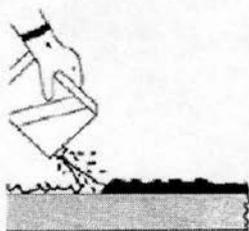


Fig. 3.2.13 Remoción de aceites y grasas impregnadas

La eliminación de aceites, grasas y bordos impregnados en el concreto con espesor superior a 3 mm requiere la eliminación del concreto contaminado a través de escarificación mecánica, quema controlada o eventualmente demolición. Después de la escarificación del concreto, retirar el material suelto y apagar todas las fuentes de calor y llamas, aplicar en la superficie, un removedor/limpiador de grasas, a base de solventes de

alta penetración, adecuadamente formulado para esta finalidad, que sea no corrosivo y biodegradable.



Fig. 3.2.14 Máquina de desbaste superficial

*Usos más comunes:* Preparación de grandes áreas horizontales, pisos y losas, donde hay buen recubrimiento del acero de refuerzo y donde es necesario la remoción de espesores de 0.5 a 3 mm. Pequeñas máquinas manuales pueden ser usadas en superficies verticales.

*Equipo:* Escarificadoras o fresadoras mecánicas.

*Procedimiento:* Pre-humedecer la superficie del concreto. Mover el equipo en franjas paralelas, procurando mantener la velocidad de movimiento constante. Una máquina fresadora de 30 cm de ancho, bien operada puede preparar cerca de 4 a 8 m<sup>2</sup> por hora para un espesor de desbaste de 2.5 a 3 mm.

*Ventajas:* Retira elevados espesores de modo uniforme y eficiente. Alta productividad.

*Desventajas:* Limitado a superficies horizontales y planas.

### 3.2.3 Limpieza de las superficies

La limpieza de las superficies es entendida como el conjunto de procedimientos efectuados instantes antes de la aplicación de los materiales de recuperación. La Tabla 3.2.2 reúne los principales procedimientos de limpieza.

Procedimiento	Procedimiento más adecuado para			
	Concreto con superficie		Acero con superficie	
	seca	húmeda	seca	húmeda
Chorro de agua fría	inadecuado	adecuado	inadecuado	aceptable
Chorro de agua caliente	inadecuado	adecuado	inadecuado	aceptable
Vapor	inadecuado	adecuado	inadecuado	aceptable
Soluciones ácidas	inadecuado	aceptable	inadecuado	inadecuado
Soluciones alcalinas	inadecuado	adecuado	inadecuado	adecuado
Remoción de aceites y grasas superficiales	inadecuado	inadecuado	adecuado	adecuado
Chorro de aire comprimido	adecuado	aceptable	adecuado	aceptable
Solventes volátiles	adecuado	adecuado	inadecuado	aceptable
Saturación con agua	inadecuado	inadecuado	adecuado	inadecuado
Aspiración al vacío	adecuado	inadecuado	aceptable	aceptable

Tabla 3.2.2 Procedimientos de limpieza



Fig. 3.2.15 Chorro de agua fría

*Usos más comunes:* Limpieza de grandes áreas.

*Equipo:* Manguera de alta presión, equipo tipo lava-chorro y salida direccional.

*Procedimiento:* Iniciar la limpieza por las partes más altas, procurando mantener una presión adecuada para la remoción de partículas sueltas. Ejecutar, de preferencia, movimientos circulares con la salida del chorro para facilitar la limpieza de toda la superficie.

*Ventajas:* Ayuda a limpiar impurezas orgánicas tales como grasas, aceites, pinturas, etc., cuando se mezcla con removedores biodegradables.

### Capítulo 3. Consideraciones preliminares y elección de los materiales y productos para la reparación.

*Desventajas:* No es adecuado cuando los materiales de reparación requieren de sustrato seco para una buena adherencia. Requiere protección con guantes térmicos y operador calificado.

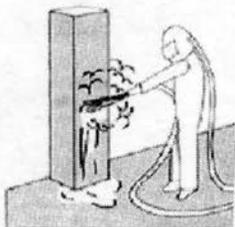


Fig. 3.2.16 Chorro de agua caliente

*Usos más comunes:* Limpieza de grandes áreas o locales levemente contaminados con grasas.

*Equipo:* Manguera de alta presión, equipo tipo lava-chorro y salida direccional.

*Procedimiento:* Iniciar la limpieza por las partes más altas, procurando mantener una presión adecuada para la remoción de partículas sueltas. Ejecutar, de preferencia, movimientos circulares con la salida del chorro para facilitar la limpieza de toda la superficie.

*Ventajas:* Ayuda a limpiar impurezas orgánicas tales como grasas, aceites, pinturas, etc., cuando se mezcla con removedores biodegradables.

*Desventajas:* No es adecuado cuando los materiales de reparación requieren de sustrato seco para una buena adherencia. Requiere protección con guantes térmicos y operador calificado.

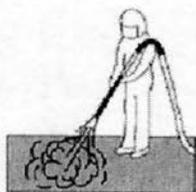


Fig. 3.2.17 Vapor

*Usos más comunes:* Preparación de grandes áreas y locales contaminados con impurezas orgánicas o minerales (sales).

*Equipo:* Manguera de alta presión dotada de aislamiento térmico para evitar pérdida de calor, salida direccional y caldera para generar vapor.

*Procedimiento:* Si es en forma de chorro, el procedimiento es similar al descrito en Chorro de agua fría

*Ventajas:* Ayuda a eliminar las impurezas minerales y orgánicas como grasa, aceite, pintura, etc.; de preferencia, debe ser asociado a removedores biodegradables, para poder obtener mejores resultados.

*Desventajas:* Exige operador especializado.

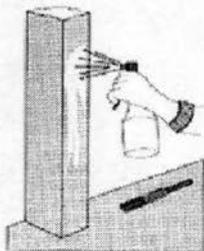


Fig. 3.2.18 Lavado con soluciones ácidas

*Usos más comunes:* Limpieza de grandes áreas donde no halla de preferencia acero de refuerzo expuesto o muy próximo a la superficie, remoción de pinturas y óxido de metales, herramientas, etc.

*Equipo:* Pulverizador, brocha, pincel o escoba.

*Procedimiento:* Antes de aplicar, saturar la estructura con agua limpia para evitar la penetración del ácido en concreto sano. Preparar la solución de ácido muriático diluido conforme orientación del Boletín Técnico del producto. Aplicar la solución. La efervescencia es señal de descontaminación. Inmediatamente después de la reacción, lavar la estructura con agua limpia en abundancia, para la remoción de las partículas sólidas y residuos de la solución utilizada.

*Ventajas:* Remueve de la superficie de la estructura materiales indeseables como carbonatos, eflorescencias, residuos de cemento, impurezas orgánicas, etc., mejorando las características adherentes del sustrato; no requiere equipo especial.

*Desventajas:* Su empleo es aconsejado apenas para tratamientos de limpieza superficial, teniendo en cuenta la posibilidad de infiltración irreversible de agentes ácidos en la estructura.



Fig. 3.2.19 Lavado con soluciones alcalinas

*Usos más comunes:* Preparación de grandes áreas que presentan residuos ácidos impregnados. También se aplica a la limpieza de hongos y musgos.

*Equipo:* Pulverizador, brocha, pincel o escoba.

*Procedimiento:* Saturar la estructura con agua limpia para evitar infiltración de la solución alcalina, que podría modificar las características del concreto. Aplicar la solución simultáneamente con el lavado de la estructura con una manguera con agua. Neutraliza especialmente la estructura que estuvo sometida a un ataque de ácidos, mejorando las características adherentes del sustrato. El método no es agresivo al acero de refuerzo y no requiere equipo especial.

*Desventajas:* Si por acaso hubiera presencia de agregados reactivos en el concreto, puede provocar expansión debido a la reacción álcali-agregado. No es eficaz en la eliminación de productos provenientes de la corrosión del acero de refuerzo. Dificulta la adherencia de ciertos productos a base de resina epóxica.



Fig. 3.2.20 Remoción de aceites y grasas superficiales

*Usos más comunes:* Limpieza de superficies horizontales (pisos) contaminadas superficialmente, en espesor menor de 2 mm.

*Equipo:* Escoba, pincel y brocha.

*Procedimiento:* Aplicar un removedor / limpiador directamente sobre las áreas afectadas, dejándolo reaccionar por 20 minutos. Enseguida lavar la región con agua en abundancia con el auxilio de una escoba, para remover partículas sólidas y residuos del producto utilizado.

*Ventajas:* No requiere equipo especial. Cuando el producto es correctamente seleccionado no ataca el concreto ni el acero de refuerzo.

*Desventajas:* No consigue remover grasas y aceites impregnados profundamente (2 mm); existiendo en este caso. necesidad de escarificación mecánica o quema controlada, conforme al grado de contaminación.

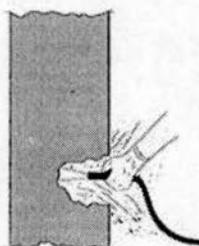


Fig. 3.2.21 Chorro de aire comprimido

*Usos más comunes:* Eliminación de polvo después de los procedimientos de preparación, como escarificación, escoba de acero o chorro de arena a presión. También es usado cuando en la superficie fuera aplicada una resina de base epóxica, que requiere de sustrato seco y limpio.

*Equipo:* Manguera de alta presión y compresor dotado de filtro de aire y de aceite, para garantizar la descontaminación.

*Procedimiento:* Existiendo cavidades, colocar en su interior la extremidad de la manguera, ejecutando la limpieza del interior al exterior. Una vez limpias, las cavidades deben ser rellenas con papel, procediendo entonces a la limpieza de la superficie adyacente. Es importante comenzar siempre el proceso por las cavidades, pasando después para las superficies vecinas, para evitar depositar polvo en su interior.

*Ventajas:* Elimina el polvo y permite, enseguida, la aplicación del adhesivo estructural de base epóxica, siempre que el sustrato esté seco. Adecuado para limpieza de fisuras, antes de ejecución el procedimiento de inyección de lechada o las resinas para el restablecimiento del monolitismo estructural.

*Desventajas:* Es inadecuado para superficies húmedas.



Fig. 3.2.22 Solventes volátiles

*Usos más comunes:* Limpieza de superficies de concreto o acero, instantes antes de la aplicación de resinas de base epóxica.

*Equipo:* Pincel, estopa y algodón.

*Procedimiento:* Aplicar el producto (acetona industrial) con estopa, pincel o algodón en las superficies y ejecutar movimientos adecuados para la retirada de eventuales residuos y contaminaciones.

*Ventajas:* Retira ácido úrico (manos), contaminaciones superficiales de grasas, pinturas y aceites. Por ser altamente volátil se evapora llevando partículas de agua de la superficie y, consecuentemente ayuda al secado superficial.

*Desventajas:* Es producto inflamable y muy volátil (pérdidas por evaporación).

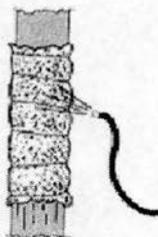


Fig. 3.2.23 Saturación con agua

*Usos más comunes:* Tratamiento de las superficies de concreto antes de la aplicación de morteros y concretos de base de cemento.

*Equipo:* Manguera perforada, sacos de yute.

*Procedimiento:* Inundar totalmente la superficie a ser tratada por un periodo de, por lo menos, doce horas, antes de aplicar los productos de base de cemento. Esa inmersión puede lograrse con la construcción de barreras temporales y manguera con flujo de agua continuo. En superficies verticales, es necesario, cuando la inmersión no fuera viable, formar una película continua de agua en la superficie con el auxilio de sacos de yute y mangueras perforadas. Instantes antes de la aplicación de los productos, retirar el agua y

secar, con estopa seca y limpia, el exceso de agua superficial, obteniendo la condición de superficie saturada y seca (no encharcada).



Fig. 3.2.24 Aspiración al vacío

*Usos más comunes:* Limpieza en seco de superficies de concreto, adecuadas para recibir adhesivos y puentes de adherencia que exigen sustrato seco.

*Equipo:* Aspirador de polvo industrial especialmente proyectado y equipado para aspirar polvo de concreto, con alta potencia.

*Procedimiento:* Aspirar cuidadosamente las áreas que serán tratadas manteniendo la boca del aspirador próxima (2 mm) a la superficie de concreto.

*Ventajas:* Retira partículas pequeñas ( polvo) sin producir más contaminación. Ideal para locales cerrados (sin ventilación).

*Desventajas:* No retira partículas grandes ni húmedas.

### 3.3 Agentes adhesivos

Los agentes adhesivos son materiales usados como puente de adherencia entre otros dos, siendo en general uno de ellos sobre la superficie del concreto viejo, también llamado de sustrato. Ofrecen una mejoría sustancial de la adherencia entre diversos materiales, tales como: concreto viejo/concreto nuevo, acero/concreto nuevo, concreto viejo/mortero base poliéster, etc. Los *primer*, además de actuar como puente de adherencia, pueden actuar como protectores del sustrato, o sea, como parte de un sistema de protección del acero de refuerzo contra la corrosión, por ejemplo.

Los adhesivos y *primers* más empleados son de base epóxica y los llamados látex, o sea, base acrílica o base acetato de polivinilo o base estireno-butadieno. Los de base polivinilo (PVA) en general son re-emulsionables lo que los torna no aconsejables para uso en locales húmedos o reparaciones y refuerzos de importancia. Los de base epóxica tienen un comportamiento estructural superior a los demás, sin embargo, tienen el inconveniente de requerir el sustrato seco, lo que siempre no es viable en obra.

Se recomienda el empleo de adhesivos para mejorar la unión entre el concreto antiguo y el concreto empleado para la reparación. Hay dos tipos diferentes de mecanismos de unión por adhesivos: unión física que actúa mediante la adhesión y la cohesión; y adherencia química mediante la reacción con la superficie tratada.

En muchos casos se usan ambos sistemas combinados. Hay varios sistemas de adhesivos:

a) Pasta de cemento: Este adhesivo consiste en pasta de cemento con una baja relación agua/cemento, que se aplica con brocha en la superficie a reparar.

b) Mortero de cemento: Otro adhesivo es el mortero de cemento, que puede ser de alta o baja viscosidad y consiste en partes iguales de cemento y arena mezclados con agua.

c) Sistemas de adhesivos en base a cemento modificado con plásticos: Generalmente, en estos sistemas el plástico se mezcla en la pasta de cemento o el mortero de cemento, vía el agua de amasado.

d) Resinas: Hay dos tipos básicos de adhesivos a base de componentes de las resinas: agentes emulsionables y agentes normales. El primer caso consiste en una combinación de resina epoxi emulsionable en agua, una resina de poliamida endurecible y un material de relleno. En los adhesivos de dos componentes se usa una mezcla pura de resina y endurecedor con o sin finos. Las resinas con material de relleno se usan en la práctica por las siguientes razones:

- El material de relleno impide la penetración profunda de la resina en el concreto viejo.
- El material de relleno impide la penetración de la resina en el concreto nuevo.

### Capítulo 3. Consideraciones preliminares y elección de los materiales y productos para la reparación.

- El material de relleno es más barato que la resina epoxica.
- Las resinas con finos pueden aplicarse en capas escasas.

En el último caso, debe considerarse la aparición de calor y su influencia.

#### *Evaluación*

En esta fase de su desarrollo es todavía difícil la evaluación de la efectividad y durabilidad del empleo de adhesivos. Hay dudas sobre si sus propiedades positivas, ponderadas en varias publicaciones, se dan en su aplicación práctica.

En ciertos casos, la resistencia de la unión disminuye cuando los dos componentes de la resina se aplican sobre superficies húmedas. Además, debe tenerse en cuenta el comportamiento de los adhesivos a largo plazo. No debe pasarse por alto que los adhesivos se comportan favorablemente en ensayos a corto plazo pero se sufren pérdidas de resistencia bajo la influencia del agua, ciclos de hielo-deshielo o durante el curado.

### 3.4 Compuestos modificados

#### 3.4.1 Compuestos modificados con látex y acrílicos

Los látex sintéticos son partículas plásticas (polímeros) dispersas en agua. El fluido resultante, de color blanco lechoso, se fabrica con diversos porcentajes de sólidos. Para emplearlos en reparaciones profundas, estos fluidos se agregan a mezclas estándar de concreto, para producir un mortero de cualidades de durabilidad superiores. El agregado grueso empleado en el concreto generalmente es de 3/8 (9.5 mm). Para resanes en capas delgadas, se añaden los látex sintéticos a los morteros acostumbrados de cemento arena.

El concreto modificado con látex tiene excelentes características de adherencia; resiste los ácidos diluidos; tiene baja absorción de agua, buena estabilidad a la congelación y al deshielo y funciona bien en bordes biselados. Los materiales para resane más convencionales, tales como los morteros de cemento modificados con látex y acrílico, con la adición de un látex sintético, son productos de excelente rendimiento de fácil aplicación y menos costosos que los materiales epóxicos.

Estos productos proporcionan mayor resistencia interna que los morteros de cemento común, son más flexibles y durables y resisten los ciclos de congelación y deshielo mejor que los resanes convencionales. Aunque no son tan resistentes al ataque químico como los materiales a base de epóxicos, son una elección común en las áreas que normalmente no están sometidas a dichas fuerzas deteriorantes.

#### 3.4.2 Sistema de mortero de cemento modificado con plásticos

En este sistema, un 5% de peso o más de aditivo plástico (en peso de cemento) se mezcla con concreto o mortero convencional. Este aditivo mejora las propiedades finales del concreto o pasta y proporciona resistencias a corta edad. El aditivo se introduce en el concreto o pasta de relleno en forma de dispersión acuosa, como emulsión, o en polvo. Para la fabricación de concretos o morteros de cemento modificados con plásticos, se pueden utilizar los siguientes grupos de plásticos: resinas acrílicas; butadieno copolimerizado; propionato de vinilo copolimerizado; propionato de polivinilo; estirolo butadieno; y resina epoxica. Una exigencia para la utilización de tales materiales es su compatibilidad con el concreto. La utilización de tales materiales, desde un punto de vista económico, se justifica únicamente cuando, comparados con morteros y concretos de cemento puro, mejoran efectivamente propiedades tales como: capacidad de retención de agua; trabajabilidad, especialmente en el caso de bajas relaciones agua-cemento; resistencia a tracción y flexotracción; resistencia a la adherencia; resistencia a los ciclos salinos de hielo-deshielo; y resistencia frente a la penetración de sustancias químicas u otras sustancias agresivas. Además, la resistencia a compresión no disminuirá significativamente (por debajo de un 5%) ni se reducirá el módulo de elasticidad.

#### 3.4.3 Morteros y lechadas orgánicas

Son morteros y lechadas formuladas con resinas orgánicas donde la unión y la resistencia del conjunto es dada por las reacciones de polimerización y endurecimiento de

los componentes de la resina, en ausencia de agua. El cemento puede entrar en la composición del producto como un agregado fino también llamado relleno, complementando la distribución granulométrica y rellenando los vacíos de arena, actuando como inerte.

Normalmente resultan morteros y lechadas con elevada resistencia mecánica y química, apropiada para ambientes altamente agresivos o en aquellos lugares donde son exigidos altos rendimientos de las reparaciones, refuerzos y protecciones. En general están formulados para uso en pequeños volúmenes y espesores, pues tienen elevada adherencia al sustrato y bajo módulo de deformación longitudinal, así como deformación lenta superior a la de los concretos y morteros de cemento. Son también llamados morteros o revestimientos anticorrosivos. Las lechadas de base orgánica pueden ser formuladas con resina prácticamente pura, cuando se destinan a rellenar fisuras, siendo conocidas también como lechada para inyección de fisuras, teniendo baja viscosidad.

*a) Morteros de base epóxica.* Los tipos más comunes de morteros y lechadas para esa finalidad son los de base epóxica, generalmente ofrecidos en dos o tres componentes; la resina (epóxica), el endurecedor (amina y/o poliamidas) y agregados seleccionados.

*b) Morteros de base fenólica.* Los morteros de base fenólica están constituidos de aglomerantes de resina de fenolformaldeído con relleno (sílica, carbono, coque pulverizado o barita) conteniendo un catalizador ácido.

Tienen buena resistencia a la mayoría de los ácidos minerales y soluciones de sales inorgánicas y a soluciones levemente oxidantes, pero son rápidamente atacados por agentes oxidantes fuertes como los ácidos: nítrico, crómico y sulfúrico concentrado. Presentan comportamiento satisfactorio en soluciones levemente alcalina y en muchos solventes, sin embargo tienen poca resistencia a álcalis fuertes.

*c) Morteros de base poliéster y de base estervinilica.* Los morteros de base poliéster y base estervinilicas son productos tricomponentes constituidos por resina en solución, catalizador y relleno inertes con modificadores de formulación.

Este tipo de morteros tienen excelente resistencia química y mecánica y tienen óptima resistencia a la mayoría de los ácidos. No resisten los productos cáusticos ni los blanqueadores. Toleran pH en el intervalo de 0.9 a 13.0. Los morteros de base estervinilicas tiene mayor resistencia química y térmica (hasta 115°C) que los de base epóxica.

*d) Morteros de base furánica.* Los morteros de base furánica son constituidos por resina líquida, catalizador y relleno (sílica, carbono, barita o coque pulverizado).

Estos morteros son resistentes a ácidos no oxidantes, a álcalis, a productos muy solventes, a sales, gases, aceites, grasas y detergentes. Pueden ser usados en temperaturas

de hasta 200°C y en un intervalo de pH de 1.0 a 13.0. El calor acelera el curado del endurecedor y el frío lo retarda.

*e) Morteros poliméricos.* Son morteros a base de cemento modificados con polímeros, que usan agregados con granulometría adecuada formulados especialmente con aditivos y adiciones que les confieren propiedades especiales. Son también llamados morteros de base mineral y el proceso de endurecimiento está basado en la reacción de los granos de cemento con el agua de mezclado.

En general tienen tracción compensada y son tixotrópicos, permitiendo su uso en superficies verticales e inclinadas.

Pueden ser formulados con resinas acrílicas del tipo metilmetacrilato o estireno-butadieno, o con resinas a base de PVA. En este último caso tiene aplicaciones limitadas, debido a la baja resistencia ante la humedad y la acción agresiva del ambiente. Algunas veces estos morteros poliméricos de base de cemento también son llamados morteros con látex, debido a la similitud de algunas propiedades de esas resinas con las propiedades del material natural látex, utilizado para la fabricación de gomas.

*f) Morteros expansivos.* Se han desarrollado morteros, lechadas y concretos expansivos, para eliminar la contracción del producto. Existen diversos procesos de fabricación empleados en este tipo de materiales y se debe tener cuidado en la selección del más adecuado.

*g) Morteros de azufre* Disponibles en forma de polvo, granulados o lingotes. Son compuestos fundidos en caliente a una temperatura de 120°C y derramados aún calientes, en las juntas entre los ladrillos anticorrosivos.

Los morteros a base de azufre están compuestos de azufre, sílica inerte, relleno de carbono y plastificantes. Los plastificantes reducen la fragilidad, mejoran las propiedades mecánicas e impiden la conversión del azufre a una forma cristalina inapropiada.

Estos morteros son particularmente útiles para la protección contra ácidos oxidantes. Cuando contienen carbono, son adecuados para la protección contra combinaciones de ácidos oxidantes y ácidos fluorhídricos. La resistencia térmica de los morteros de azufre es relativamente baja y su peso por lo tanto limitado a las instalaciones con temperatura de trabajo por debajo de 88°C. Es baja su resistencia química frente a las soluciones alcalinas fuertes y ciertos tipos de solventes orgánicos. Se recomienda su uso para pH entre 1.0 y 14.0. El tiempo de uso es muy variable.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

### 3.5 Resinas epóxicas

Hasta ahora han sido muchos y muy diversos los materiales que se han empleado para la reparación y restauración del concreto, pero el camino de la resina epóxica es sin duda alguna el indicado. La resina es, en sí misma, un plástico con características muy especiales que se presenta en una amplia gama, desde líquidos de baja viscosidad hasta sólidos de alto punto de fusión. Con base en la resina epóxica, la reparación de un elemento de concreto agrietado en su interior se logra mediante el procedimiento de inyección de resina líquida a alta presión, luego de lo cual recupera su capacidad de carga evitando así la demolición, o bien, mediante el pegado de placas con resina epóxica en pasta; dicha capacidad de carga se aumenta hasta el punto que sea requerido. Por ello, puede asegurarse que la reparación o restauración de elementos de concreto con resinas epóxicas ha venido a acelerar el desarrollo de las tecnologías para la conservación de las estructuras.

Como es sabido por los ingenieros civiles, existen otros materiales y procedimientos de restauración, de ahí que resulte interesante preguntarse por qué reparar con resina epóxica y no con otro pegamento. La razón es la siguiente: la resina epóxica se compone de 100% de sólidos, no tiene contracciones, su capacidad de adherencia es tal que no se despega del concreto, y frente a la compresión tiene una capacidad que normalmente varía, de acuerdo con cada fabricante, de 1 200 a 2 100 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia claramente superior a la de los concretos que comúnmente empleamos. Además, su deformación en las formulaciones para inyectar varía de 3 a 7%, es estable, durable y de fácil aplicación, lo que convierte a la resina epóxica en la herramienta ideal para las reparaciones de elementos de concreto.

Aunado a lo anterior, el nivel de desarrollo alcanzado permite inyectar la resina epóxica en grietas de 0.4 mm (1/64"), lo cual ofrece un nivel de seguridad que no es posible lograr con cualquier otro método. El Comité 224 del ACI (American Concrete Institute) proporciona recomendaciones precisas sobre el particular, y en México se dispone de la asesoría de algunas empresas con décadas de experiencia en esta tecnología. Estos productos son especialmente adecuados cuando se requiere un corto tiempo de curado, una alta resistencia a cortas edades y una alta resistencia a los ataques químicos y físicos. Son apropiados para reparar daños superficiales, bordes dañados en juntas y defectos del concreto. Sin embargo, al usar estos sistemas hay que tener en cuenta que, comparados con los sistemas de mortero de cemento, tienen mayor coeficiente de dilatación térmica que puede llegar a ser hasta 10 veces mayor que la del concreto. Las resinas, además, pueden ser bastante caras.

Para poder hacer un buen uso de resinas epóxicas en la rehabilitación de las estructuras de concreto, es preciso contar con un marco de referencia que permita identificar el tipo que ofrezca más ventajas en cada caso particular y estar al tanto de ciertas consideraciones estructurales que guardan una relación muy estrecha con calidad y eficiencia del trabajo.

Determinar la proporción óptima entre la resina y el endurecedor elegido es la esencia de la calidad de la mezcla, puesto que cualquier exceso o deficiencia en ésta debilitará siempre el producto final. Las características del producto final endurecido dependen fundamentalmente de las cantidades relativas entre los elementos de base y los modificadores incluidos. Los que siguen son algunos índices que, a pesar de su variabilidad, permiten establecer un orden de ideas en las consideraciones del empleo de resinas como elementos de rehabilitación:

- Resistencia a la tensión entre 300 y 950 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a la compresión entre 1 200 y 2 100 kg/cm<sup>2</sup>.
- Adherencia muy alta en comparación con la que se puede proporcionar, por ejemplo, entre concreto y concreto, y aun entre concreto y acero (debido al carácter polar del producto).
- Gran velocidad para adquirir resistencia (normalmente algunas horas).
- Gran resistencia al impacto (ideal para revestimientos de superficies expuestas a condiciones difíciles de trabajo).
- Módulo de elasticidad entre 15 000 y 300 000 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a la abrasión y al desgaste general muy superior a la que puede adoptar un concreto de alta calidad.
- Coeficiente de dilatación térmica entre 1.0 y  $5.8 \times 10^{-5}$  cm/cm, mientras que para el concreto es de aproximadamente  $1 \times 10^{-5}$  cm/cm. Esta diferencia puede no ser relevante si el espesor de la resina es del orden de fracciones de mm; sin embargo, se debe prestar especial atención cuando el espesor rebasa los 5 mm, ya que una gran diferencia entre los coeficientes de la dilatación puede provocar fallas en la interfase de unión.
- Muy baja disminución del volumen inicial; en general, esta contracción es bastante más pequeña que la del concreto.
- Estabilidad térmica. Los sistemas de resinas epóxicas acusan una fuerte disminución de sus propiedades mecánicas y un aumento considerable de su deformabilidad a temperaturas entre 60°C y los 100°C. A los 200°C estos sistemas han reducido sustancialmente sus características, y a los 300°C las resistencias empiezan a quemarse produciendo la volatilización de algunos de sus componentes.

Las propiedades químicas más importantes son:

- Termoestabilidad. Esta propiedad se manifiesta una vez que se ha formado el sólido y hasta determinadas temperaturas.
- Facilidad de reacción. Es posible obtener elementos para mezclas que no requieran condiciones especiales para lograr la reacción deseada; sin embargo, es necesario mencionar que existen algunos componentes que necesitan determinadas condiciones de ambiente en la construcción.
- Resistencia a los agentes químicos. Este hecho depende fundamentalmente de la estructura interna que se logre; el conocimiento de la citada estructura permite prever, en general, su comportamiento ante las condiciones a que se verá expuesta.

### 3.6 Concreto, lechada o mortero de cemento

#### *Concreto*

El concreto de cemento es el material tradicionalmente usado en reparaciones y refuerzos. En la gran mayoría de los casos, requiere una dosificación que mejore algunas de las características naturales. Puede que sea necesario obtener altas resistencias iniciales, eliminar la contracción por secado, lograr ligeras y controladas expansiones, elevada adherencia al sustrato, baja permeabilidad y otras propiedades, normalmente obtenidas a costa del empleo de aditivos y adiciones tales como plastificantes, reductores de agua, impermeabilizantes, escoria de alto horno, cenizas volantes, microsilica y, la clásica reducción en la relación agua/cemento.

Esas exigencias para la obtención de elevadas características reducen en la práctica la viabilidad del empleo directo del concreto elaborado en la obra para uso en reparaciones y refuerzo, salvo en lugares donde se necesitan grandes volúmenes y exista asistencia técnica y orientación permanente del personal especializado en tecnología del concreto.

Existen en el mercado microconcretos y morteros industrializados ya adecuadamente dosificados para uso en reparaciones y refuerzos según el tipo de problema que se presente, según las características de la zona a ser reparada, por ejemplo, vertical u horizontal, y resistentes a la agresividad del medio ambiente.

Los materiales avanzados, formulados a base de resinas y combinaciones de resinas con otros materiales -fibras, relleno, etc.- se establecieron como respuesta científico-técnica moderna a las exigencias de comportamiento y durabilidad en continua evolución en todo el mundo, especialmente en las situaciones en que el concreto necesita ser modificado o donde su uso es inadecuado.

#### *Lechada de cemento*

La lechada de cemento generalmente sólo se emplea cuando la abertura que se va a reparar es pequeña y se puede tolerar la contracción. Para lograr una mejor penetración, generalmente es bombeada a presión por estas aberturas. Sin embargo, es preferible emplear una resina epóxica de inyección cuando la reparación es importante.

La lechada es un material fluido y autonivelable en estado recién mezclado, destinado a rellenar cavidades y consecuentemente tornarse adherente, resistente y sin contracción en el estado endurecido. La lechada de base cemento está constituida por cemento común y ordinario, cemento compuesto (con adiciones) o de cemento de alta resistencia inicial, agregados de granulometría adecuada, aditivos expansores y aditivos superplastificantes.

Por sus características de alta fluidez, buena adherencia, baja contracción y alta permeabilidad, este tipo de lechada es conveniente para reparaciones en locales de acceso difícil o en secciones densamente armadas.

No siempre es necesario reparar los defectos de las superficies de concreto con materiales. Cuando surge un problema de asentamiento de losas, hay otras soluciones posibles. Si el asentamiento es mínimo, una solución rápida y económica sería desbastar la losa más elevada hasta nivelarla con la sección inferior. Si hay una seria diferencia de niveles, se debe de considerar la inyección de lechada. Se hacen perforaciones en la sección asentada de la losa y se bombea una lechada, o un material similar para elevar la sección a su posición original.

Cuando el asentamiento de una losa no es más que un pequeño escalón o un punto de estremecimiento para montacargas y otros equipos de ruedas, el mortero epóxico es una solución aceptable. Muchos productos de reparación no se prestan para biselados y al poco tiempo se rompen por el borde más delgado. Una vez que el borde se empieza a desgastar, es inevitable la destrucción subsecuente del resane.

### ***Morteros de cemento***

El mortero de cemento se emplea para diversas reparaciones. Nunca se debe emplear en deterioros de muy poca profundidad, ya que generalmente no resiste mucho. Todas las reparaciones con mortero deben de tener una profundidad mínima de 3.8 cm y nunca deben tener bordes biselados. Los lados del área que se va a reparar deben ser verticales hasta la profundidad total del resane.

Al igual que en cualquier reparación de concreto, cuando se va a aplicar cemento, el área se debe saturar con agua para evitar que el agua del resane fresco sea absorbida. Después se debe de aplicar un agente adherente y, mientras esté pegajoso, el mortero consistente se compacta cuidadosamente en el sitio. Tan pronto como sea posible, se debe de colocar arpillera mojada sobre el resane, y éste se debe mantener húmedo por lo menos durante 3 días.

### 3.7 Materiales de fraguado rápido

Los materiales de fraguado rápido, conocidos generalmente como cementos hidráulicos, fraguan rápidamente y se endurecen en unos cuantos minutos. Estos materiales son útiles cuando el agua sale a presión por un orificio.

El concreto modificado con látex se ha hecho muy popular por sus propiedades adherentes y sus elevadas resistencias a la compresión y a la tensión. Es razonablemente flexible, tiene bajo factor de absorción de agua y es durable. Es recomendable en la reparación de caminos de concreto, puentes y pisos para trabajo pesado.

El concreto de cemento tiene varias ventajas como material para reparación de un deterioro profundo: tiene las mismas cualidades térmicas que el concreto al que se trata de adherir; está siempre disponible, es muy conocido y su precio es razonablemente bajo.

#### *Concretos y morteros de fraguado rápido*

En innumerables ocasiones es preciso realizar reparaciones rápidas que permitan por ejemplo la continuidad de la producción en industrias o la liberación del tránsito. Los productos pueden ser morteros elaborados con cemento aluminoso, que presentan fraguado rápido y alta resistencia en las primeras edades. Los cuales tienen el inconveniente que con el tiempo pierden parte de la resistencia alcanzada inicialmente, debido a la transformación morfológica que sufren los cristales de aluminato.

Estos productos pueden ser también formulados con base en la reacción del magnesio con fosfato, que así como el anterior, desarrollan rápidas resistencias iniciales. Son también empleados para esta finalidad los materiales de base de sulfato de calcio.

### 3.8 Selladores

Son materiales usados en las juntas de dilatación de las estructuras de concreto, con el objetivo de impedir el paso de líquidos, vapor o partículas sólidas para el interior de la estructura.

En el momento en que son solicitados y se deforman deben poseer características elásticas y de recuperación compatibles con los esfuerzos y deformaciones sufridas. Pueden ser formulados a partir de las mismas resinas básicas usadas en pinturas; acrílicas, poliuretanas, epóxicas, bituminosas, etc.

La naturaleza química de los selladores, proviene de la resina básica de formación, es responsable de la resistencia al intemperismo y a los agentes agresivos, adherencia al sustrato, deformabilidad y recuperación elástica.

En contraste con las impregnaciones, un producto de sellado forma una película en la superficie del concreto. Esto puede lograrse aumentando la cantidad a aplicar un agente de impregnación, que tiende a formar una película, o eligiendo una resina apropiada.

#### *Selladores penetrantes*

Como su nombre lo indica, los selladores penetrantes son materiales en los cuales la mayor parte del producto se impregna en el concreto en vez de repartirse sólo en la superficie. Se usan sobre todo en ambientes exteriores como pueden ser las cubiertas de puentes, las estructuras para estacionamientos, los estadios, y los muros y cerramientos de concreto. Los factores clave que identifican a los selladores son la profundidad de penetración, la permeabilidad al vapor, y la resistencia a la absorción de agua y a la penetración del ion cloro.

En términos generales, estos materiales se formulan para proteger al concreto contra los efectos perjudiciales de los ciclos de congelación y descongelación y de la exposición al cloro, a fin de evitar la escamación y la corrosión.

Entre los productos que se usan como selladores penetrantes se incluye el aceite de linaza, los silicatos, el metacrilato de alto peso molecular (conocido en inglés como HMWM), los silanos y los siloxenos. En la actualidad rara vez se usa el aceite de linaza. Aunque resulta muy económico, su eficacia es de muy corta duración.

#### *Selladores superficiales*

Los selladores superficiales son productos que permanecen en la superficie del concreto con un espesor de película comprendido entre 1 y 10 mils (25 y 254  $\mu\text{m}$ ). Se usan básicamente en interiores para resistir el ataque de productos químicos, la abrasión, para proporcionar una superficie más estética y fácil de limpiar, o para aprovechar sus propiedades eléctricas. Las propiedades clave de los materiales son, entre otras, la adherencia, la permeabilidad al vapor, las químicas, la resistencia antiderrapante y al

impacto, el acabado general, y, en el caso de los pisos, para disparar o conducir la corriente, su resistencia eléctrica y la generación de voltaje de cuerpo.

Entre los materiales que se usan como selladores superficiales están las epoxias, los uretanos “duros” (no elastoméricos), los metilmetacrilatos, los acrílicos y muchas otras pinturas. La adherencia es muy importante criterio para calificar a estos materiales; si el producto no permanece en su lugar no nos será de gran utilidad.

### ***Recubrimientos de capa gruesa***

Cuando los selladores o recubrimientos se aplican en espesores totales comprendidos entre 10 y 30 mils (254 y 762  $\mu\text{m}$ ) se les considera de capas gruesas. Las epoxias, poliésteres, vinilésteres, uretanos, acetatos de polivino y látex son los materiales que más se usan en capas gruesas. La mayoría de las mismas aplicaciones y propiedades de los selladores superficiales son válidas para los recubrimientos de capa gruesa.

Los selladores de capa gruesa presentan ciertas ventajas con respecto a los selladores superficiales. Se comportan mejor al ser sometidos a abrasión porque se dispone de mucho más material para que se desgaste. Se pueden lograr texturas más tersas y algunos de los materiales presentan una mayor resistencia al ataque de productos químicos, sobre todo los poliésteres y los ésteres de vinilo.

### 3.9 Aditivos

Los aditivos para el concreto son los materiales e ingredientes, diferentes del cemento, agregados o agua, que se adicionan a la mezcla para dar un efecto útil.

Las principales razones del empleo de los aditivos son:

1. Para reducir el costo de la construcción del concreto.
2. Para obtener algunas propiedades en el concreto de manera más efectiva que por otros medios.
3. Para asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado en condiciones ambientales adversas.
4. Para superar ciertas eventualidades durante las operaciones de colado.

En el concreto fresco:

- Aumenta la trabajabilidad sin incrementar la relación agua/cemento
- Mejora la cohesión
- Reducir el sangrado
- Retardar el proceso de fraguado
- Acelerar el proceso de fraguado

En el concreto endurecido:

- Aumentar la resistencia a las heladas
- Aumentar la velocidad de desarrollo de resistencia temprana
- Aumentar la resistencia
- Reducir la permeabilidad

Como los aditivos se añaden a las mezclas de concreto en cantidades pequeñas, se deben usar solamente cuando se pueda ejercer un elevado control en el procedimiento de mezcla. Una dosis incorrecta, es decir, poco o demasiado aditivo puede afectar la resistencia y otras propiedades del concreto.

#### *Tipos de aditivos*

- a) *Reductores de agua.* Los reductores de agua de mezclado son los que permiten disminuir la cantidad de agua de mezclado que se necesita para elaborar concreto con determinada consistencia.
- b) *Inclusores de aire.* Estos se utilizan para incluir intencionalmente burbujas microscópicas de aire; ya que éstas mejoraran drásticamente la durabilidad de los concretos que están expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo.
- c) *Estabilizadores de volumen.* Uno de los comportamientos indeseables del concreto consiste en los cambios de volumen que experimenta, primero, durante la etapa de fraguado y, después, durante el proceso de endurecimiento.
- d) *Expansores.* Los aditivos expansores son productos cuyas propiedades dilatadoras derivan de la generación de un gas al entrar en contacto con el agua y el cemento.

- e) *Puzolánicos*. Son los que contienen puzolana, material silícico o silico-aluminoso que en sí tiene poco o ningún valor cementante, pero que finalmente molido y en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias, formando compuestos que tiene propiedades cementantes. Las puzolanas preparadas como aditivos se emplean para mejorar la manejabilidad y plasticidad de la mezcla, reduciendo su permeabilidad, mejorando la resistencia a las aguas o suelos agresivos, y para otros usos.
- f) *Bentonita*: La bentonita, producto de roca natural formada principalmente por arcilla mineral llamada montmorilonita, se usará como aditivo únicamente en lechadas.
- g) *Aditivos superplastificantes (reductores de agua de alto rango)*: Los concretos producidos con este aditivo son concretos muy fluidos pero trabajables, los cuales se pueden colocar con poca o ninguna vibración o compactación, pudiendo quedar todavía libres de sangrado o segregación excesiva.
- h) *Inhibidores de la corrosión*: El inhibidor de la corrosión líquido más comúnmente empleado, el nitrito de calcio, bloquea la reacción de corrosión de los iones cloruro reforzado químicamente y estabilizando la película pasiva.
- i) *Agentes a prueba de humedad*: Los aditivos que se conocen como agentes a prueba de humedad comprenden a ciertos jabones, estearatos y productos derivados del petróleo.
- j) *Aditivos colorantes*: Normalmente el peso de los pigmentos no deberá exceder al 10% del peso del cemento.
- k) *Aditivos químicos para reducir la reactividad con los álcalis*: Algunos productos químicos han tenido éxito para producir la expansión álcalis-agregado. De éstos, las sales de litio y de bario han mostrado reducciones sobresalientes. Sin embargo, los métodos más prácticos para reducir la expansión álcali-agregado consiste en el uso de puzolanas de las cuales se conozca su capacidad para reducir la expansión.
- l) *Aditivos y agentes para unir*: Los aditivos para unir normalmente son emulsiones de agua de materiales orgánicos entre los que se incluyen al hule, al cloruro de polvinito, a los copolímeros de butadieno estireno y a otros polímeros.

### 3.10 Materiales para protección de superficies

#### *Impregnaciones e hidrofugaciones*

Para impregnaciones se utilizan los siguientes materiales: soluciones orgánicas de silicio, resinas y aceites. Los silicatos se utilizan principalmente para impregnaciones en fábricas de tejas de concreto para cubiertas, concreto aireado, ladrillos resistentes a las heladas y bloques huecos de arcilla. Las resinas de silicio utilizadas para impregnaciones son compuestos orgánicos con una concentración del 5% aproximadamente. La reacción se efectúa exclusivamente mediante la evaporación del disolvente. Las resinas silíceas se pueden manipular sin problemas en todas las superficies absorbentes; sin embargo, estas superficies tienen que estar secas.

Mientras las impregnaciones con resinas pueden ser satisfactoriamente utilizadas en superficies horizontales, las impregnaciones hidrofugantes no son apropiadas para superficies horizontales donde el agua puede permanecer estancada en la superficie. Por consiguiente, el principal campo de aplicación de las impregnaciones hidrofugantes en las superficies verticales o inclinadas, donde el agua puede correr fácilmente.

#### *Revestimientos*

Los revestimientos son comparados con los selladores proporcionan una protección adicional frente a las acciones mecánicas. Hay que considerar el hecho de que los revestimientos, comparados con los selladores, presentan un aumento de resistencia a difusión de la humedad interior. Hay que hacer una diferenciación entre revestimientos delgados y gruesos. Los revestimientos delgados seguirán el contorno de cualquier desigualdad de la superficie. Los revestimientos gruesos forman, dentro de lo posible, una superficie plana con un grosor de 1 mm o más. Por consiguiente, un revestimiento grueso eliminará cualquier irregularidad de la superficie.

#### *Revestimientos monolíticos*

Los revestimientos monolíticos, también llamados laminados, son constituidos de un refuerzo en forma de manta, tejido o fibras, generalmente de vidrio, poliéster o nylon, dispuesto en una o más capas, embebidas por resinas de base estervinilica, epóxica, poliéster, furánica o fenólica.

#### *Membranas*

Las membranas se seleccionan de acuerdo con sus características de impermeabilidad, para evitar el ataque de productos químicos o por razones estéticas. Los factores más importante que establecen la diferencia entre membranas son la resistencia a la penetración del agua, la elongación, la recuperación, la resistencia al desgarramiento, la resistencia a productos químicos, la adherencia y la apariencia.

Para aumentar la resistencia al ataque de los productos químicos, se recomiendan los sistemas de membranas a base de poliéster y de éster de vinilo. A diferencia de los que sucede con otros sistemas de membranas, los poliésteres y los ésteres de vinilo son sistemas más rígidos

y de alta contracción. Estos sistemas se pueden reforzar con fibra de vidrio o con otro tipo de materiales para proporcionar mayor libertad de movimiento o mejor capacidad de absorción térmica.

### *Silicatación*

Por silicatación de la superficie de concreto se entiende, una serie de procedimientos similares, que tienen por objetivo tapar los poros superficiales y endurecer las superficies del concreto o mortero del piso o contrapiso, impermeabilizándolos. Pueden también ser aplicados en superficies verticales, impermeabilizándolas y protegiéndolas. Los siguientes productos pueden ser usados para la silicatación del concreto.

- a) Metasilicato de sodio o potasio
- b) Tetrafluoruro de silicio
- c) Fluorsilicato de magnesio o de zinc

Estos tratamientos deben ser usados con cautela porque pueden reducir o impedir la adherencia de pinturas o revestimientos posteriores, así como no protegen la estructura contra ataques químicos intensos.

### *Aceites*

Aceite de soya, aceite de peroba y ciertos ácidos como el linólico y el oléico, que tienen consistencia aceitosa, pueden ser usados para la impermeabilización y protección de superficies de concreto. En general oscurecen la superficie del concreto. En el momento de la aplicación, el concreto debe de tener más de 14 días de fabricación y se recomienda neutralizar previamente la superficie antes de la aplicación, usando una solución compuesta de 2.4 kg de cloruro de zinc con 3.8 kg de ácido fosfórico en 100 litros de agua potable. Esperar el secado por 48 horas, antes de la aplicación de los aceites. Los aceites pueden ser diluidos en kerosene, recomendándose por lo menos dos manos espaciadas más de 24 horas.

### *Barnices e hidrofugantes de superficie*

Se denominan barnices e hidrofugantes, las pinturas aplicadas a las superficies de estructuras de concreto, destinadas a protegerlas e impermeabilizarlas, sin que sea alterado sustancialmente su aspecto.

Normalmente tienen mayor aplicación en las estructuras y albañilerías arquitectónicas (superficie expuesta), sin revestimiento, y localizadas en superficies verticales y horizontales internas, tales como techos y coberturas. No son recomendables para locales con solicitaciones mecánicas y/o físicas fuertes, ni para locales sometidos a la presión de agua, tales como tanques, canaletas y recipientes de contención.

### *Pinturas orgánicas*

Las pinturas son dispersiones de pigmentos en aglutinantes, cuando son aplicadas en capas finas sobre una superficie, sufren un proceso de secado o curado y endurecimiento,

formando una película sólida, adherente al sustrato e impermeable. El proceso de aplicación es llamado "pintar" una superficie.

Las pinturas orgánicas son también llamadas de revestimientos anticorrosivos o pinturas de protección de superficie, debido a la elevada protección química que confiere a la estructura. Las pinturas pueden ser de diferente naturaleza.

- a) Goma clorada. Generalmente debe constituir una capa espesa de protección para ser efectiva. En la película seca se debe tener un espesor superior a 0.25 mm, algunas veces hasta 3 mm. Normalmente debe ser aplicada sobre superficie de concreto seca y con edad superior a los dos meses. Es muy sensible a la acción del solvente y se debe de tener un desfase de por lo menos 24 horas entre una y otra mano.
- b) Vinílicos. Los cloruros de polivinilo, de acetato cloruro de polivinilo y los cloruros de poliviniladeno, son utilizados en el combate a la corrosión de las estructuras metálicas. Debido a la elevada viscosidad de estas resinas, solamente son encontradas soluciones con baja concentración de sólidos y pigmentos. Se recomienda un mínimo de tres manos, espaciadas, por lo menos, 3 horas una de otra. No tienen buena adherencia al concreto.
- c) Uretanos. Existen diferentes pinturas de base uretano. Las monocomponentes que endurecen por secado u oxidación no son recomendables para uso en superficies de concreto, como revestimientos protectores. Las más adecuadas para concretos son los sistemas bicomponentes de poliuretano alifático cuyo catalizador es el Polioli. Son también las de mayor resistencia química, sin embargo, exigen conocimientos y competencia en la aplicación por que son muy sensibles a la mala preparación y la deficiente limpieza del sustrato. Tienen el inconveniente de no tapar poros de diámetro superior a 1 mm, lo que obliga a un resane de la superficie, en la mayoría de los casos.
- d) Epóxicas. Son siempre bicomponentes. Las más adecuadas al concreto en ambientes agresivos húmedos son los sistemas que usan poliamidas como catalizadores de la reacción de polimerización. No son recomendables para servicios inmersos ya que se pueden desprender del sustrato. También no deben estar sujetas a la acción de la atmósfera pues se degradan bajo la acción del ozono y de los rayos ultravioletas. Son los que presentan mejor adherencia al concreto. Tienen el inconveniente de no tapar los poros de diámetros mayores de 1 mm, lo que obliga a un resane de la superficie en la mayoría de los casos.
- e) Acrílicas. Pueden ser mono o bicomponentes, base agua o base solventes. Presentan resistencia a la foto degradación y retienen el brillo. Generalmente, las pinturas dispersas en solvente exhiben mejor comportamiento que las dispersas en agua.
- f) Pinturas bituminosas y de alquitrán de hulla base epoxica. Las pinturas bituminosas de alquitrán de hulla base epóxica (coal-tar epoxy), normalmente son aplicadas en dos o más manos. La primera, más diluida, debe de actuar como primer asegurando la buena adherencia al sustrato. Las demás deben ser siempre aplicadas en dirección ortogonal a la anterior y solamente cuando esta haya secado.

#### **CAPÍTULO 4. Métodos para la colocación de materiales de reparación en estructuras de concreto.**

Objetivo específico:

Análisis de las ventajas y limitaciones de los métodos más utilizados para la colocación de materiales de reparación en estructuras de concreto.

La necesidad de reparar o reforzar una determinada estructura, restaurando su seguridad y aumentando su durabilidad (vida útil), se ha convertido en una actividad cada vez más común por una serie de razones; estructuras cada vez más esbeltas, solicitudes más intensas, ambientes más agresivos, mayor conciencia y conocimiento por parte de los responsables del mantenimiento de las estructuras, recuperación o aumento del valor del inmueble, dificultades para demoler y reconstruir, cambios en el uso de la obra y otros.

Conforme con lo comentado, ya no es posible prescindir del diagnóstico adecuado del problema patológico a ser realizado por un especialista. Los servicios deben ser iniciados a partir de ése diagnóstico, del proyecto de recuperación y, de los apuntalamientos y alivios de cargas necesarios.

Los procedimientos que aquí se presentan, son apenas una guía orientada para los proyectistas, constructores, inspectores (supervisores de obra) y responsables por el mantenimiento preventivo y correctivo de las obras civiles, sin que sustituya el diseño específico de recuperación.

#### 4.1 Reemplazo del concreto

Este método consiste en sustituir el concreto defectuoso por concreto nuevo de un tipo corriente, colocado según los métodos clásicos; es una solución satisfactoria y económica, cuando el volumen del material que hay que sustituir es bastante importante, cuando la reparación debe realizarse en profundidad, es decir, tener de 5 ó 10 cm. (y como mínimo llegar más allá de las armaduras), y cuando la parte a reparar es accesible.

La reposición completa del concreto defectuoso siempre debe ser la última consideración. Aunque todavía hay ocasiones en que la sustitución es necesaria, como en el caso de una vieja acera muy destruida, la mayoría de las estructuras de concreto se pueden reparar. Si el proceso de deterioro ha alcanzado un nivel en el que no es posible una reparación superficial de poco espesor, se debe de considerar una sustitución de la sección del concreto desprendida. La elección técnica del material de reparación depende del volumen que halla de rellenar, la profundidad de la reparación, el efecto de las cargas y las condiciones de aplicación *in situ*. En todos los casos, se requiere un tratamiento superficial previo apropiado. Las diversas medidas para reparar los daños pueden, además, necesitar protección superficial para proporcionar durabilidad a la reparación. Se pueden utilizar los siguientes materiales para la sustitución de pérdidas considerables en la superficie del concreto: resinas, morteros de cemento modificado con plásticos y mortero de cemento o concreto.

#### *Descripción*

Esta técnica de restauración se recomienda cuando se tienen daños mayores con aplastamiento del concreto o el pandeo del acero de refuerzo. Consiste en la reconstrucción del elemento, reemplazando los materiales dañados por otros en buen estado. Para lograr lo anterior, será indispensable liberar de carga al elemento en reparación mediante apuntalamiento. La reparación de las superficies de unión entre los materiales viejos y los nuevos requiere de una limpieza previa mediante chorro de arena o en su defecto con cepillo de alambre y chorro de aire, a continuación de la cual, será necesario la saturación con agua o la aplicación de lechada o de algún adhesivo a base de resinas.

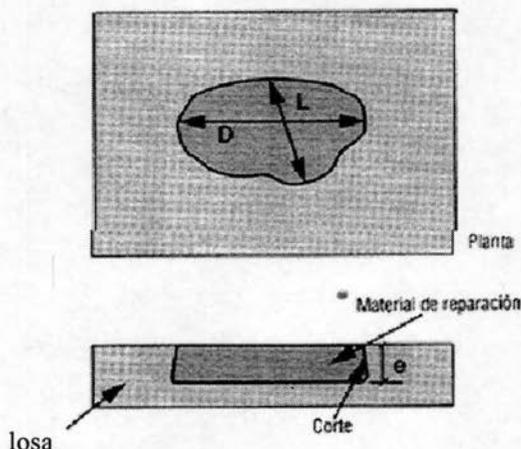


Fig. 4.1.1 Reparaciones de pisos con microconcreto de alta resistencia inicial

*Alcance:*  $1.0 \leq e \leq 10.0$  cm / L x D 2.5 x 2.5 m

*Corte de contorno:* profundidad = 1.0 cm

*Sustrato:* saturado y con superficie seca, sin encharcamiento

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar agua al polvo en la relación agua/polvo igual a 0.120. Mezclar y homogeneizar por tres minutos

*Aplicación:* aplicar el microconcreto en el lugar de la reparación, en capas secuenciales. Espesores hasta 5 cm en una sola capa. En espesores mayores que 5 cm (hasta 10 cm), esperar una hora después de colocar la primera capa y entonces colocar la otra

*Curado:* dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola inmediatamente después de ejecutar la reparación

*Importante:* el área reparada podrá ser liberada para el tránsito de peatones después de una hora y para el tránsito de vehículos, después de 2 horas de acabada la reparación, con temperaturas de 25°C

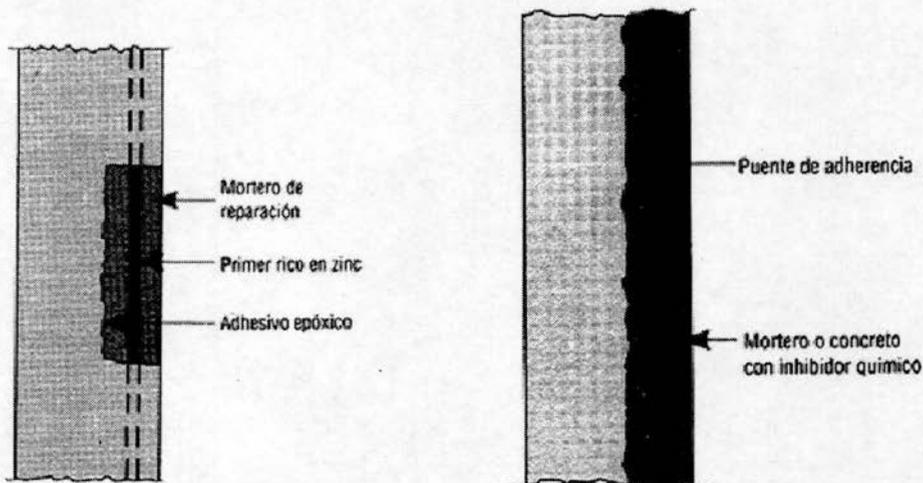


Fig. 4.1.2 Protección del acero de refuerzo a) primer para acero de refuerzo rico en zinc y b) Inhibidor de corrosión

*Alcance:* reparaciones puntuales o generales con acero de refuerzo corroído

*Sustrato:* eliminar el concreto de alrededor de las barras dejando por lo menos 2.5 cm libres. Limpiar el acero de refuerzo retirando los productos de corrosión con chorro de arena lanzada eventualmente con lija (lija de agua), o cepillo de acero, eliminando la suciedad con chorro de aire toda la superficie del acero de refuerzo

b) Aplicar conector (puente) de adherencia con adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) sobre el sustrato seco, para crear la barrera al concreto viejo y contaminado

*Preparación:* a) mezclar bien el producto en la lata hasta obtener homogeneidad

b) disolver el inhibidor de corrosión\* en el agua de la mezcla. Usar 5% del inhibidor por masa de cemento Portland común o compuesto. Mezclar bien y homogeneizar en el mortero u concreto

*Aplicación:* antes de aplicar el mortero de reparación (cemento epóxico o poliéster) aplicar *primer* rico en zinc, en la superficie del acero de refuerzo, y esperar el secado durante 30 minutos. Posteriormente aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo epóxico (de baja viscosidad) en la superficie del concreto contaminado, y al mismo tiempo formar un conector (puente) de adherencia.

b) los procedimientos de ejecución deben seguir las recomendaciones generales

- Curado:* a) el curado del primer ocurre por la simple evaporación del solvente  
b) húmedo durante 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo, al comenzar el fraguado. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar tapando la superficie

*Cuidados:* trabajar con guantes y espejuelos de protección y en locales ventilados

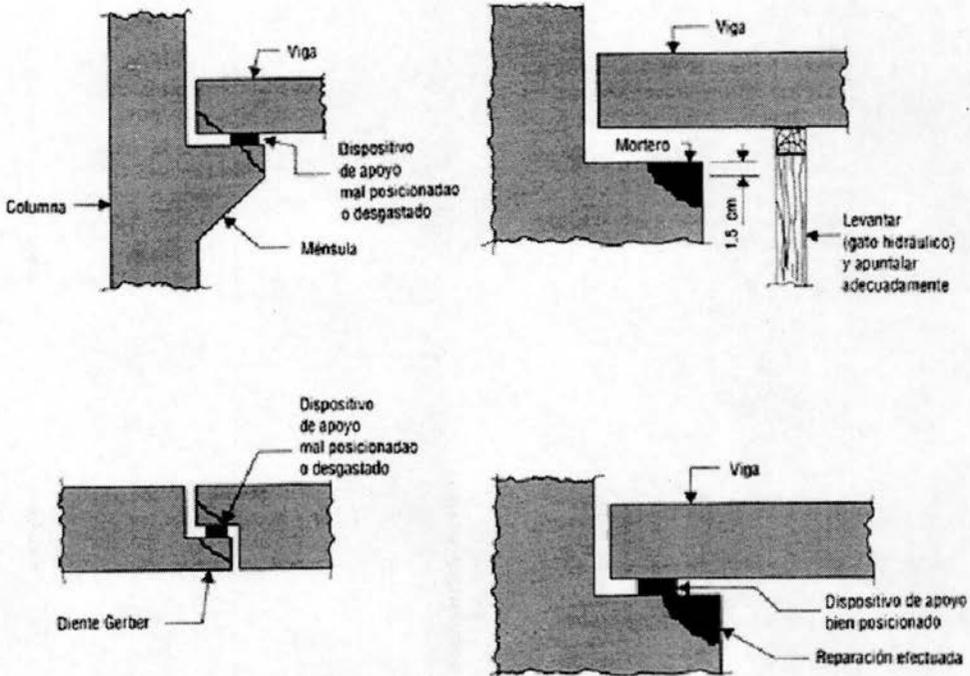


Fig. 4.1.3 Reparación Ménsulas / Dientes Gerber - Refuerzos con mortero de base epóxica

*Alcance:* llenado de cavidades con espesores que no superan  $\leq 5$  cm

*Sustrato:* levantar la viga que se apoya en la ménsula, retirar el apoyo y demoler el concreto dañado. Preferentemente perfilar el contorno con cortadora de disco marcando a una profundidad  $\geq 0.5$ . Instantes antes de verter el mortero, limpiar el sustrato con chorro de aire seco comprimido o acetona y aplicar conector (puente) de adherencia y adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) sobre la superficie seca

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar

por 3 minutos. Juntar poco a poco el agregado, mezclar y homogeneizar por 3 minutos

*Aplicación:* de acuerdo al proyecto. Aplicar conector (puente) de adherencia y adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) respetando el tiempo de manipulación y secado\* del adhesivo, aplicar el mortero (tixotrópico) de base epóxica, presionándolo fuertemente contra el sustrato en capas secuenciales de 1.5 cm hasta llegar al espesor deseado ( $\geq 5$  cm). Usar en temperatura ambiente de 10° a 30° C. Para espesores mayores desfasarlos por más de 5 horas y mantener rugosas las superficies que recibirán nuevas capas

*Terminación:* frota metálica

*Curado:* evitar la irradiación solar directa y la humedad en las primeras 5 horas

*Cuidados:* trabajar con guantes y espejuelos de protección y en locales ventilados y limpiar equipo y herramientas con un solvente, antes de la polimerización del sistema epóxico

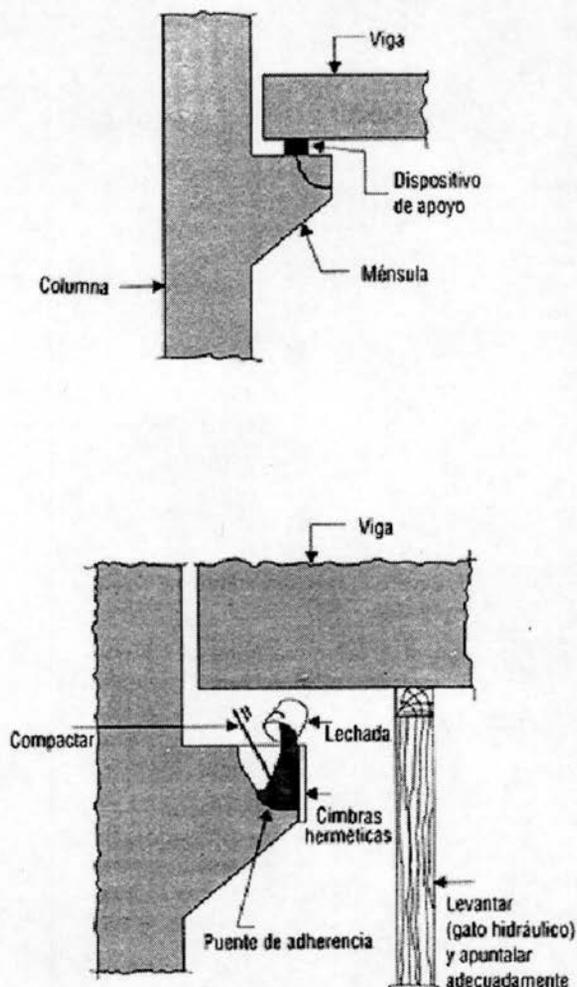


Fig. 4.1.4 Reparación de ménsulas con: a) lechada de base cemento / microconcreto fluido, b) lechada de base epóxica y c) concreto

*Alcance:* a) dimensiones  $\leq 6$  cm mortero fluido de base cemento y  $\leq 30$  cm microconcreto fluido, confinadas por moldes

b) abertura de 10 a 40 mm – lechada fluida de base epóxica. Abertura de 35 a 70 mm – lechada fluida de base epóxica para reparaciones profundas

c) cualquier dimensión  $\leq 5.0$  cm

*Sustrato:* a) y c) seco, con aplicación de conector (puente) de adherencia y adhesivo base epóxica (de baja viscosidad)

b) seco y limpio

*Preparación:* levantar la viga que se apoya en la ménsula, retirar el apoyo y demoler el concreto dañado. Preferentemente perfilar el contorno con cortadora de disco marcando a una profundidad  $\geq 0.5$ .

- a) En una mezcladora mecánica adicionar agua al polvo en relación agua/polvo igual a 0.140, para el mortero fluido de base cemento y 0.126 para el microconcreto fluido. Mezclar y homogeneizar por 3 minutos
  - b) En una mezcladora mecánica adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos. Juntar poco a poco el agregado, mezclar y homogeneizar por otros 3 minutos
  - c) relación agua/cemento 0.50; revenimiento de 10 a 15 cm; aditivo superfluidificante y tamaño máximo característico del agregado grueso  $\leq \frac{1}{4}$  de la mayor dimensión de la pieza
- levantar la viga que se apoya en la ménsula, retirar el apoyo y demoler el concreto dañado. Preferentemente perfilar el contorno con cortadora de disco marcando a una profundidad  $\geq 0.5$

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Preparar las cimbras herméticas y rígidas, con boca de alimentación. Retirar la cimbra, aplicar el conector (puente) de adherencia y adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) y recolocar la cimbra.

- a) y c) verter el mortero fluido de base cemento o microconcreto fluido respetando el tiempo de manipulación y secado\* del adhesivo. Evitar bolsas de aire vertiendo suavemente e ininterrumpidamente siempre por el mismo lado
- b) verter la lechada hasta llenar totalmente el vano, cuidando no dejar bolsas de aire. Usar cimbras herméticas y desmoldantes a base de cera de abejas. Mantener la temperatura ambiente entre 10 y 30°C

*Terminación:* al retirar la cimbra, transcurridos por lo menos 48 horas, cortar los sobrantes, siempre de abajo hacia arriba evitando rasgaduras. Dar terminación con mortero polimérico de base cemento (de baja contracción, para caso a) y c))

- Curado:*
- a) húmedo por 7 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo inmediatamente después de descimbrar. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie
  - b) trabajar con guantes y espejuelos de protección y en locales ventilados y limpiar equipo y herramientas con un solvente, antes de la polimerización del sistema epóxico

- c) húmedo durante 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo, al comenzar el fraguado

*Cuidados:* la estructura solo podrá entrar en carga después de 21 días

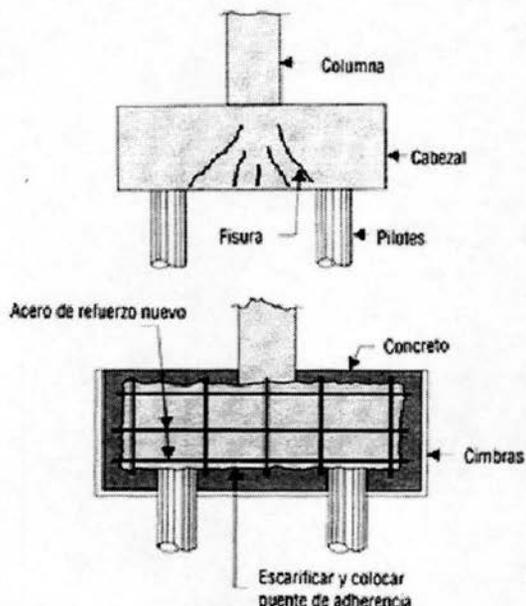


Fig. 4.1.5 Reparación de cimentaciones con: a) Lechada de base cemento / microconcreto fluido y b) concreto

*Alcance:* a) refuerzos cuyo espesor en su sección transversal no supere 6 cm – con mortero fluido de base cemento. Refuerzos cuyo espesor en su sección transversal no supere 30 cm – con microconcreto fluido

b) refuerzos de cualquier dimensión, siempre que el espesor  $\geq 8$  cm y los laterales  $\geq 5$  cm

*Sustrato:* romper las aristas y escarificar la superficie para aumentar la adherencia. Instantes antes de colocar la lechada o microconcreto, limpiar y secar el concreto viejo con chorro de aire comprimido o acetona

*Preparación:* en una mezcladora mecánica adicionar agua al polvo en relación agua/polvo igual a 0.140, para el mortero fluido de base cemento y 0.126 para el microconcreto fluido. Mezclar y homogeneizar por 3 minutos

*Aplicación:* colocar el nuevo acero de refuerzo según el diseño. Posicionar las cimbras que serán herméticas y rígidas. Aplicar el conector (puente) de adherencia y adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) sobre las superficies del concreto.

- a) Colocar la lechada, respetando el tiempo de manipulación y secado\* del adhesivo, solamente por uno de los lados de manera suave e ininterrumpidamente, evitando la formación de bolsas de aire
- b) Colar el fondo del cabezal por un solo lado hasta que el concreto aflore del otro. Colocar las cimbras para los laterales y colar compactando con fija o con vibrador adecuado

*Terminación:* al retirar la cimbra, transcurridos por lo menos 48 horas, cortar los sobrantes, siempre de abajo hacia arriba evitando rasgaduras. Dar terminación con mortero polimérico de base cemento (de baja contracción)

*Curado:* húmedo por 7 días (a) y para (b) 14 días, o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo inmediatamente después de descimbrar. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

*\* tiempo de manipulación, es el plazo disponible para aplicar el producto*

*\* tiempo de secado, es el plazo total, después de mezclar los componentes del primer o adhesivo, durante el cual el material es aún adherente. También conocido como tiempo para aplicar el resane*

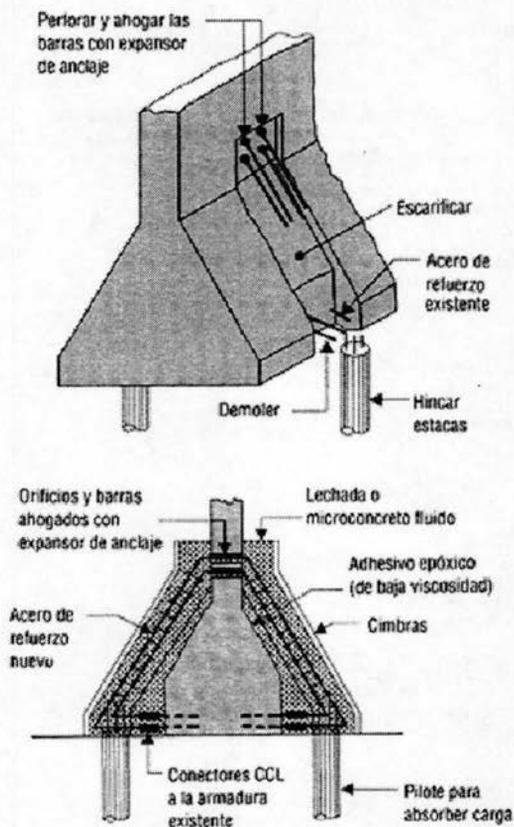


Fig. 4.1.6 Refuerzos - Zapatas con: a) lechada de base cemento / microconcreto fluido y b) concreto

*Alcance:* refuerzos cuyo espesor no supere 6 cm – con mortero fluido de base cemento. Refuerzos cuyo espesor no supere 30 cm – con microconcreto fluido

*Sustrato:* romper las aristas y escarificar la superficie expuesta.

- a) El sustrato saturado y con la superficie seca, sin encharcamientos
- b) Sustrato seco con la aplicación de conector (puente) de adherencia y adhesivo base epoxica (de baja viscosidad)

*Preparación:* a) en una mezcladora mecánica, adicionar agua al polvo en relación la agua/polvo igual a 0.140 para el mortero fluido de base cemento y 0.126 para el microconcreto fluido, mezclar y homogeneizar por tres minutos

- b) relación agua/cemento  $\leq 0.50$ ; revenimiento de 10 a 15 cm; aditivo superplastificante y tamaño máximo característico del agregado grueso de  $\frac{1}{4}$  de la menor dimensión

*Aplicación:* escarificar la parte lateral y superior de la zapata. Colocar el refuerzo conforme al diseño. Perforar el alma de la zapata y ahogar barras de refuerzo de acuerdo al proyecto, con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico), dejando por lo menos 30 cm de cada lado. Demoler aquello que fuera necesario. Si el refuerzo en la zapata original no fuera suficiente, conectar nuevo refuerzo al antiguo con enmiendas tipo CCL de FORSOC. En caso de que el refuerzo no fuera suficiente la zapata deberá ser demolida en un pequeño trecho, para atravesar el refuerzo complementario necesario. En estos casos rellenar con lechada fluida de base epóxica para reparaciones profundas, los orificios pasantes del nuevo acero de refuerzo complementario.

- a) Verter con cuidado la lechada o el microconcreto fluido sobre el sustrato saturado sin encharcamiento, evitando siempre la formación de bolsas de aire
- b) Colocar el resto del acero de refuerzo de proyecto. Colar los laterales con uso de cimbras y aplicar en las superficies laterales y superior conector (puente) de adherencia

*Curado:* húmedo por 7 días (a) y para (b) 14 días, o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo inmediatamente después de descimbrar. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

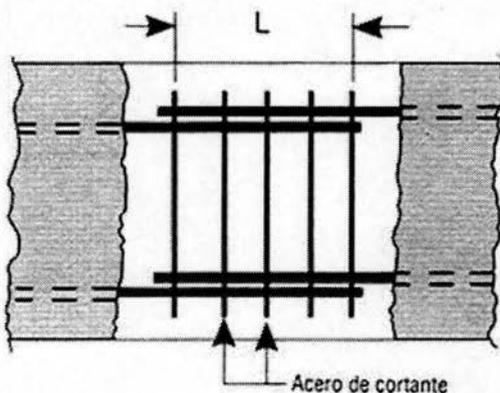


Fig. 4.1.7a Refuerzos – Enmiendas para reconstruir la sección de acero de refuerzo, por traslape



Fig. 4.1.7b Refuerzos – Enmiendas para reconstruir la sección de acero de refuerzo, por traslape

- Longitud del traslape para refuerzo en compresión, se recomienda conforme a diseño:
- Mortero base cemento:  $L \geq 40$  diámetro con espesor de recubrimiento conforme ACI 318
- Mortero y lechada de base epóxica:  $L \geq 30$  diámetro con  $d \geq 0.5$  cm
- Mortero de base poliéster:  $L \geq 30$  diámetro con  $d \geq 0.5$  cm
  - Lechada base cemento, microconcretos y concretos:  $L \geq 40$  diámetro, con espesor de recubrimiento conforme ACI 318
- Longitud de traslape para refuerzo en tensión, debe estar conforme al diseño se recomienda:
  - Diámetro  $\leq 12.5$  mm y hasta 50% de enmiendas en la misma sección –idem para refuerzo en compresión
  - Diámetro  $\leq 12.5$  mm y hasta 100% de enmiendas en la misma sección –aumentar de 50% la longitud del traslape
  - Diámetro  $\leq 12.5$  mm: seguir recomendaciones del ACI 318

*Observación: se considera acero de refuerzo CA-50 corrugado  $h_b > 1.5$*

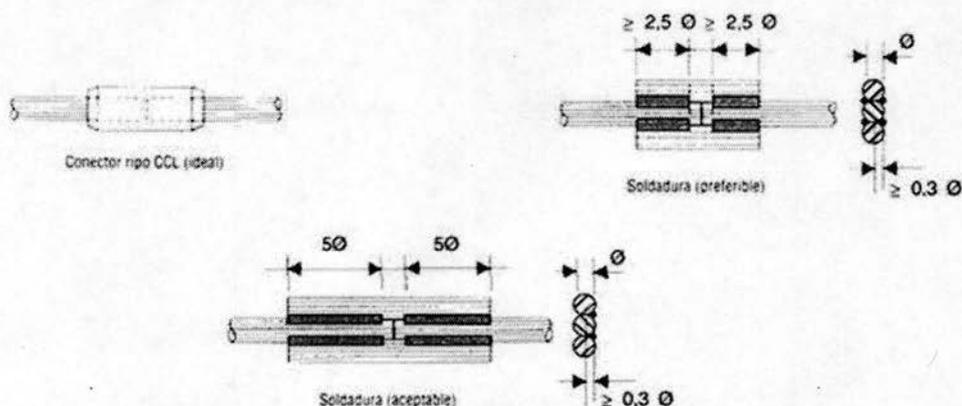


Fig. 4.1.8 Conector mecánico (manguito) o soldadura

- Emplear enmiendas con conectores mecánicos de presión tipo CCL de la FOSROC
- En caso de no sea posible la enmienda con conectores mecánicos de presión, usar soldadura solamente para acero tipo laminado al calor
- De preferencia la soldadura debe ser aplicada en los dos lados de la barra
- Usar electrodo E 7018 o E 6013 (AWS)
- Después de aplicar un cordón de soldadura, esperar a que se enfríe hasta poderla tocar con la mano, antes de aplicar la capa siguiente
- En situaciones de mayor responsabilidad, debe ser evitada la soldadura, pues puede conducir a la fragilización del acero

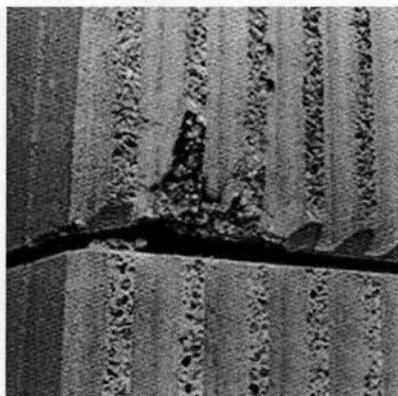


Fig 4.1.9 Fisura causada por el manejo y/o fijación incorrecta de paneles prefabricados.

Problema:

- Paneles de concreto prefabricado deteriorados por impacto y carga (desde su construcción original).
- Fisuras y recubrimiento inadecuado sobre el acero de refuerzo.

Soluciones:

- Saneado con remoción de concreto suelto y preparación del acero de refuerzo expuesto.
- Protección del acero de refuerzo con productos base cemento e inhibidores de corrosión, resinas epoxi modificadas..
- Reemplazo del concreto deteriorado con morteros de base acrílica.
- Aplicación del recubrimiento protectorprimer como acabado uniforme y decorativo de la superficie.

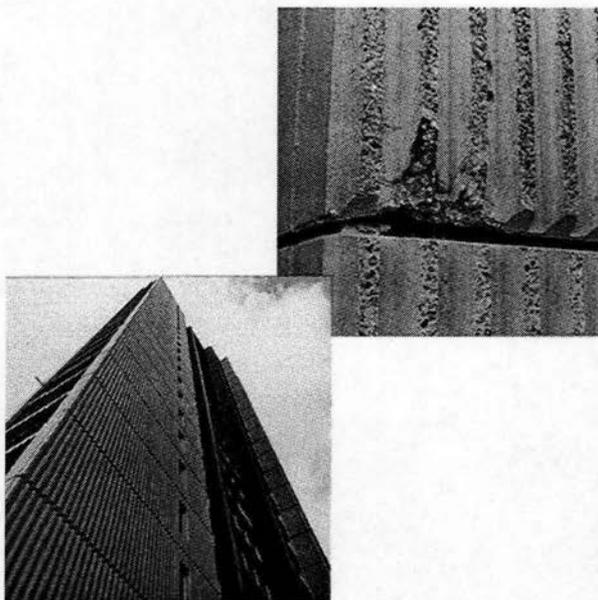


Fig. 4.1.10 Edificio de apartamentos de 24 pisos con estructura en concreto y elementos arquitectónicos de fachada prefabricados.

## 4.2 Empaquetado y compactación en seco

Se trata de la puesta en obra manual de un mortero muy seco que se apisona o compacta "in situ" para establecer un contacto estrecho entre el material nuevo y el antiguo. Gracias a la débil relación agua/cemento de este mortero, la retracción será pequeña, y la parte reparada tendrá una adherencia, una resistencia y una durabilidad satisfactorias. No es necesario utilizar maquinaria especial.

Se utiliza el mortero seco para llenar agujeros de pequeñas dimensiones pero bastante profundos, como los que resultan de la retirada de las ataduras de la cimbra, y como los vaciados estrechos practicados para la reparación de fisuras. La utilización de mortero seco no es aconsejable cuando se trata de llenar o de reparar grandes superficies poco profundas, o en las que es necesario colocar concreto bajo las armaduras, o cuando la reparación requiere un gran volumen de material.

### Descripción

La mezcla corriente lleva una parte de cemento por 2.5 ó 3 de arena fina (que pasa por el tamiz No. 16). El empaquetado en seco emplea un mortero seco con suficiente humedad para formar bolas cohesivas al ser apretado en las manos, pero no tan húmedo como hacerlas plásticas. Se utilizan un mazo y una varilla compactadora para empaquetar el material en su lugar, de modo que forme una masa uniforme y altamente compactada. En las nervaduras, se emplea un molde de respaldo y un molde inferior para proporcionar confinamiento

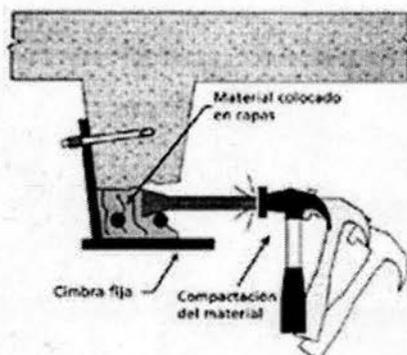


Figura 4.2.1 Aunque el empaquetado seco requiere trabajo intensivo, produce un material de reparación con muy poca contracción.

Después de colocar el material y dar un acabado a la superficie expuesta para igualar con el concreto existente, debe curarse apropiadamente. El método preferido de curado es el rociado de agua sobre una manta de yute mojada.

### *Ventajas*

No se requiere equipo especializado y los materiales de reparación-arena y cemento no son caros. El empaquetado seco produce un material de reparación de alta calidad con contracción mínima, alta resistencia temprana y buena adherencia al material base.

### *Desventajas*

El empaquetado seco necesita cierto grado de trabajo intensivo y también requiere habilidad al mezclar el material para obtener el contenido de humedad adecuado. Con solo agregar unas pocas gotas de agua de más, la mezcla se volverá plástica y, al aplicar la presión, no podrá empaquetarse apretadamente sino que solamente se obtendrá un pandeo y se moverá de un lado a otro. El empaquetado en seco no es aplicable a grandes superficies o áreas profundas, y no es buena técnica cuando hay una gran cantidad de acero de refuerzo muy apretadamente espaciado que evita la consolidación apropiada del material en la cavidad. El empaquetado sólo requiere un técnico con mucha habilidad para colocarlo.

Son necesarios obreros muy calificados. Conviene colocar el mortero seco en capas que no tengan más de 1 cm. de espesor, arañar la superficie de cada capa para que se adhiera con la capa siguiente, y compactar cada capa con una varilla compactadora y un martillo. Se coloca la varilla sobre el mortero y se golpea con el martillo. Cuando la superficie es pequeña se coloca un extremo de la varilla sobre el mortero y después se comienza a golpear en medio de aquella y se prosigue el golpeo aproximándose a los bordes para provocar un cierto efecto de acodamiento. Cuando la superficie es más grande se puede utilizar una varilla en T, colocando la cabeza de la T sobre el mortero y golpeando con un martillo sobre la rama central. Se colocan las capas sucesivas de mortero seco sin dejar intervalo entre ellas, salvo si el material se hace esponjoso, en cuyo caso hay que esperar hasta que endurezca la superficie. No se debe de tratar desecar el material colocando una capa más seca. Tampoco se deben alterar capas secas y capas húmedas.

Los agujeros deben llenarse hasta el borde y el acabado debe de ejecutarse con una tabla que presente una cara llana (o con el lado de la varilla de madera dura) que se golpea contra la superficie. No se debe de utilizar varillas metálicas, ni golpear con una llana.

### 4.3 Concreto de agregado precolado

#### *Donde emplearlo*

En reparaciones que demandan un material de muy baja contracción para evitar asentamiento, tal como la reparación de columnas estructurales. Se utiliza para reparar las superficies de la obra, hacer recubrimientos, llenar cavidades en el interior o bajo las obras, recalzar y engrosar diques, contrafuertes, muros de contención y zapatas.

Se utiliza también para estabilizar escolleras y obras de escolleras, como rompeolas.

#### *Descripción*

Después de haber preparado adecuadamente la cavidad de reparación, y una vez instalado el molde, se llena completamente la cavidad con un agregado grande especialmente graduado. Luego se bombea una lechada de cemento y arena al agregado, llenando completamente los espacios que hubiera en este. La lechada se coloca a través de puertos en el molde o mediante aguas de inyección de lechada (tubos de metal o de plástico) que se extienden hasta el fondo de los moldes. A medida que la lechada se bombea a través de las agujas, éstas se van sacando, hasta que el área completa ha sido inyectada con lechada.

Los agregados gruesos deben cumplir las normas establecidas para el concreto normal, estar limpios y ser cuidadosamente seleccionados. La proporción de huecos dejados por los agregados debe ser tan reducida como sea posible, con objeto de disminuir el volumen necesario de la lechada. Normalmente la proporción de huecos varía de un 35 a un 45%.

Conviene colocar la lechada comenzando por la parte inferior y subiendo. La distancia entre los tubos de vertido no debe sobrepasar 1.5 m., y el nivel de la lechada debe subir uniformemente, lo que podrá comprobarse observando el nivel de lechada en los tubos. Debe mantenerse una carga de al menos 1, ó 1.5 m. en los tubos por encima del nivel de sus bocas. La puesta en obra debe ser regular e interrumpida, y es conveniente mantener una cierta carga en los tubos de vertido después de llenar y antes de que el concreto haya fraguado.

#### *Ventajas*

La mayor ventaja de esta técnica es la reducción de la contracción. Con un contacto punto a punto de los agregados, hay poco espacio para que ocurra contracción.

#### *Desventajas*

Se requieren agregados especialmente graduados y puede ser difícil llenar completamente la cavidad con el agregado. Si se utilizan agujas de inyección de lechada, se requiere espacio por encima de la reparación para poder sacarlas.

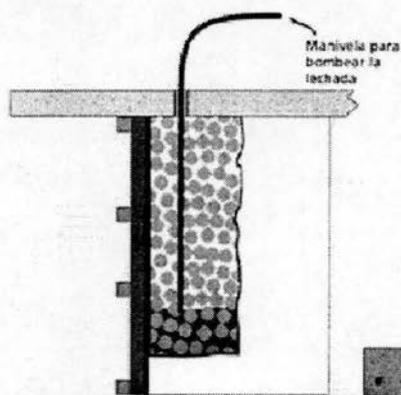


Fig. 4.3.1 En concreto de agregado precolado, el contacto de punto a punto de los agregados grandes da como resultado un material de reparación con contracción mínima.

El empleo de este método de reparación puede dar excelentes resultados, pero es un trabajo especial que conviene no emprender si no es bajo la vigilancia de personal competente y experimentado. Si no se toman las suficientes precauciones, la reparación saldrá mal, sin que sea posible saberlo. Para todo proyecto de reparación, es útil construir los elementos de prueba antes de comenzar la obra propiamente dicha. La construcción de estos elementos es particularmente importante cuando el método de reparación recurre al concreto de agregado precolado.

Es importante prever la extracción de probetas, y/o la retirada y nueva colocación eventual de la cimbra para permitir la inspección del concreto.

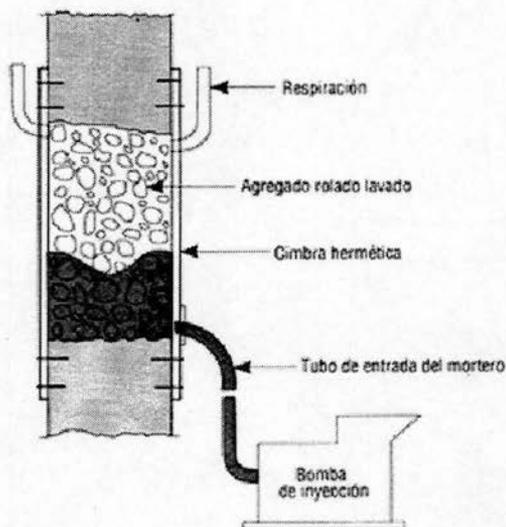


Fig. 4.3.2 Concreto inyectado

*Alcance:* cualquier profundidad  $\leq 4$  cm

*Sustrato:* saturado y con superficie seca, sin encharcamiento

*Preparación:* agregados de canto rodado, de tamaño entre los tamices 12.5 y 40 mm. Mortero de dosificación en masa 1 de cemento:1.5 de arena seca con tamaño máximo característico de 1.2 mm y relación agua/cemento  $\leq 0.45$ , con aditivo superfluidificante

*Aplicación:* preparar las cimbras herméticas y rígidas. Colocar los agregados gruesos e inyectar agua potable. Después de la saturación dejar escurrir el agua e inyectar el mortero lentamente y sin interrupción desde abajo, expulsando el aire. En cavidades de grandes dimensiones es conveniente disponer de varios tubos de inyección espaciados a 50 cm

*Curado:* saturar con agua por 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola, brocha o rodillo inmediatamente después de descimbrar

#### 4.4 Concreto lanzado (aplicación neumática)

##### *Donde emplearla*

En superficies verticales y horizontales elevadas sin refuerzo congestionado.

##### *Descripción*

Al aplicar el concreto lanzado, el material de reparación es soplado al lugar indicado por medio de aire comprimido. Existen dos tipos de concreto lanzado: de mezcla húmeda y de mezcla seca. En el proceso de mezcla húmeda, el agua se mezcla con los materiales secos antes de ser lanzados hacia la superficie. En el proceso de mezcla seca, el agua se agrega a los materiales secos en la boquilla. Cada uno de estos métodos tiene ventajas y desventajas muy marcadas, haciendo que un proceso sea más apropiado para una reparación que el otro.

El proceso de mezclado húmedo tiene muchas ventajas en las colocaciones masivas fuertemente reforzadas. En el concreto lanzado de mezcla seca, tiene suma importancia la manipulación cuidadosa de la boquilla por parte del operador para mezclar completamente la corriente del material cuando sale de la misma. En el concreto lanzado de mezcla húmeda no se requiere esta manipulación cuidadosa de la boquilla para completar el proceso de mezclado, de modo que la velocidad de colocación puede ser significativamente más alta, y las habilidades requeridas del operador de la boquilla no son tan grandes.

Como ocurre con todo, existen desventajas en el mezclado húmedo. La principal es el demasiado revenimiento o contracción debido al agua excesiva que debe incluirse para obtener bombeabilidad. Esto no constituye un problema tan grande como alguna vez lo fue, porque ahora se dispone de moderno equipo de bombeo de muy alta calidad, capaz de bombear mezclas de muy bajo revenimiento. Además, los aditivos reductores de agua pueden disminuir drásticamente los requisitos de agua.



Fig. 4.4.1 Equipo de bombeo para el concreto lanzado



Fig. 4.4.2 El concreto lanzado es un método de colocación efectivo para reparaciones de superficies verticales y elevadas que no contienen refuerzo congestionado.

#### *Ventajas*

El concreto lanzado tiene generalmente una baja relación agua/cemento y está bien compactado, lo que con frecuencia produce un material de reparación con altas resistencias a la compresión y a la flexión. El material de reparación debe aplicarse rápidamente y se puede crear casi cualquier forma o configuración. El concreto lanzado se aplica generalmente sin moldes y resulta frecuentemente más barato que los otros métodos que requieren gran utilización de moldes.

#### *Desventajas*

La calidad del producto final depende en gran medida de la habilidad del operador de boquilla, y el material de rebote atrapado puede formar bolsas de arena dentro de la masa. Debido a que el concreto lanzado no contiene por lo regular agregados gruesos, necesita más pasta de cemento que el concreto convencional para formar una capa adecuada sobre los agregados. Esto puede dar como resultado una contracción excesiva si el concreto lanzado contiene demasiado cemento o demasiada agua.

#### *Acabado y curado*

Se debe evitar dar un acabado a las capas base del concreto lanzado. Esto debilitará la adherencia de las capas sobrepuestas. Sin embargo, el acabado de la delgada capa final sellará la superficie del concreto lanzado, la hará menos permeable y visualmente más atractiva. La reparación del concreto lanzado se debe curar inmediatamente después del acabado.

La mayoría de las reparaciones de concreto lanzado se debe de recubrir con una membrana de un compuesto de curado o con un tejido de yute húmedo.

#### 4.4.1 Requisitos para la reparación con concreto lanzado

Los requisitos que vale la pena considerar incluyen: documentación de la experiencia del contratista en proyectos similares. Es absolutamente necesario que se efectúe una aprobación de una muestra de ensayo para asegurarse de que tanto el ingeniero como el contratista están de acuerdo en el concreto lanzado antes de que empiecen los trabajos del proyecto.



Fig. 4.4.3 Pruebas que se deberán realizar

La preparación apropiada de la superficie es la clave para una aplicación de reparación. Esta comienza con el cincelado y la remoción del concreto deteriorado hasta un sustrato firme para asegurar la adherencia apropiada.

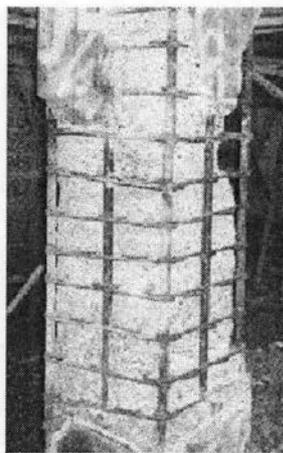
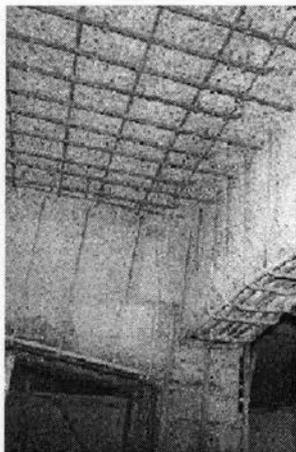


Fig. 4.4.4 Preparación de superficies a reparar

Lograr la adherencia apropiada como resultado de la primera capa de concreto lanzado aplicado al sustrato es de importancia crítica, ya que esa capa inicial soportará el peso de las capas adicionales. Hasta donde sea posible, no deben utilizarse moldes que restrinjan o limiten la dirección de la boquilla. El diseño de los moldes y la secuencia de construcción deben establecerse con mucha anticipación, con la colaboración del contratista de concreto lanzado. El acceso de la boquilla debe ser una consideración prioritaria en

todas las fases de planeación para los proyectos de concreto lanzado estructural. Esto generalmente necesitará de la cooperación y la planeación previa de todos los participantes, incluyendo carpinteros de cimbra y constructores, habilitadores de varillas de refuerzo, y operadores de concreto lanzado. Es de vital importancia que la acumulación progresiva del concreto lanzado ocurra de tal manera que deje la menor posibilidad que se junte material de rebote. Las secciones gruesas deben ser construidas en capas que tengan una inclinación de aproximadamente 45 grados, y también debe mantenerse una pendiente en la dirección longitudinal, de modo que el material de rebote no se acumule por detrás de las varillas de refuerzo horizontales.



Fig. 4.4.5 Forma correcta de colocación del material de reparación por el método de concreto lanzado

Al igual que con cualquier concreto lanzado, es crucial la limpieza apropiada y la preparación de las juntas entre las capas o entre colocaciones individuales, a fin de obtener un producto satisfactorio. Esto se vuelve todavía más crítico cuando existen secciones profundas. Antes del fraguado, todas las superficies contra las cuales habrá de colocarse más concreto lanzado, deben ser raspadas o cepilladas con un cepillo gruesa, a fin de quitar cualquier lechada u otros materiales inapropiados, y proporcionar una superficie limpia y rugosa. Debe quitarse del acero de refuerzo todo el material rociado en exceso antes de su endurecimiento.

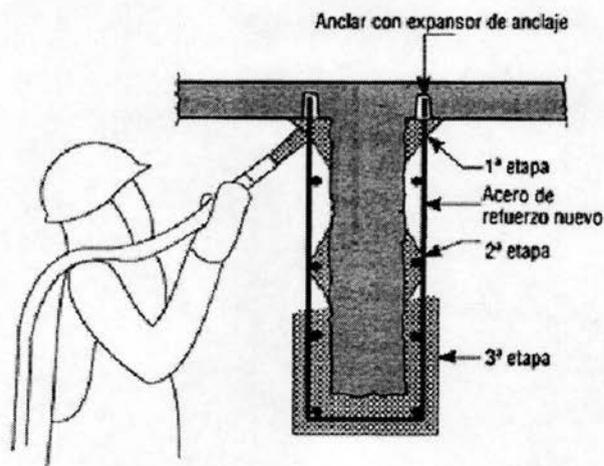


Fig. 4.4.6 Reparación de vigas. a) Refuerzo - Flexión

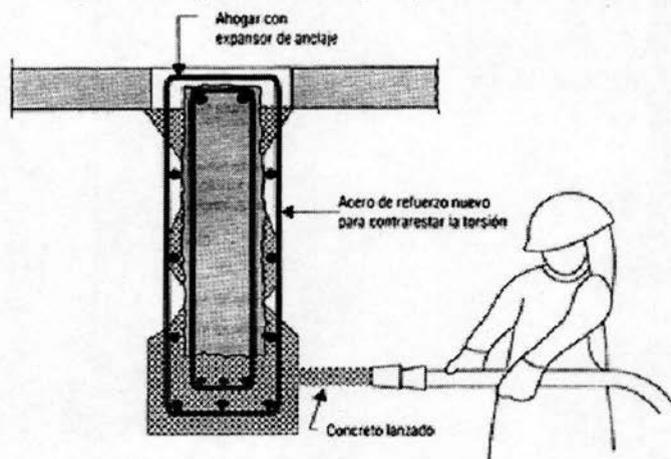


Fig. 4.4.7 Reparación de vigas b) Refuerzo - Torsión

*Alcance:* refuerzos con cualquier dimensión

*Sustrato:* saturado y con superficie seca sin encharcamiento

*Preparación:* agregado grueso con tamaño máximo característico  $\leq 19$  mm; dosificación en masa de uno de cemento para 2 a 2.5 de arena más agregado grueso; relación agua total/cemento de 0.35 a 0.50

*Aplicación:* Para el caso (b) debe estar conforme a diseño, colocar el nuevo acero de refuerzo longitudinal distanciado del existente

aproximadamente 1 cm en la vertical y 2 cm en la horizontal. Ahogar las puntas del acero de refuerzo longitudinal a los pilares con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico), con una longitud de anclaje indicada por el diseño, como mínimo 6 cm.

Iniciar el lanzado del concreto por los cantos y cavidades, revistiendo seguidamente el acero de refuerzo. Aplicar el concreto en capas secuenciales de espesor  $\leq 5$  cm, hasta alcanzar el espesor deseado. Utilizar aditivo acelerador de fraguado. Los sobrantes de concreto deberán ser eliminados con un enrasado

*Terminación:* con frota de madera o apenas con enrasado o incluso “a los natural” imitando un “salpicado”

*Curado:* húmedo por 14 días o dos manos de un adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

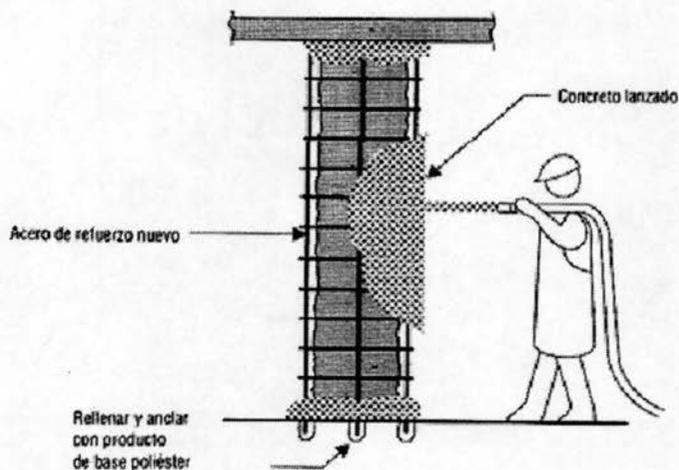


Fig. 4.4.8 Refuerzo en columna

*Alcance:* cualquier dimensión  $< 5.0$  cm

*Sustrato:* saturado y con superficie seca sin encharcamiento

*Preparación:* agregado grueso con tamaño máximo característico  $\leq 19$  mm; dosificación en masa de uno de cemento para 2 a 2.5 de arena más agregados gruesos; relación agua total/cemento de 0.35 a 0.50

*Aplicación:* debe estar conforme a diseño. Perforar las losas o cimientos para anclar las barras longitudinales con una profundidad  $> 6$  cm. Limpiar las perforaciones a seco y fijar las barras longitudinales con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico).

Colocar separadores en el acero de refuerzo longitudinal y en los estribos, tanto para mantenerla a 2.0 cm del núcleo como para garantizar un recubrimiento mínimo de 2.0 cm. Aplicar el concreto lanzado por los cantos y cavidades, revistiendo seguidamente el acero de refuerzo. Aplicar el concreto en capas secuenciales de 5 cm de espesor, hasta alcanzar el espesor deseado. Utilizar aditivo acelerador de fraguado. Los sobrantes de concreto deberán ser eliminados con un enrasado

*Terminación:* con frota de madera o apenas con el enrasado o hasta “a lo natural” imitando un “salpicado”

*Curado:* húmedo por 14 días o dos manos de un adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

*Cuidados:* apuntalar la estructura y descargar la columna. Retirar los puntales sólo después de 14 días

*Observación:* Podría ser usado el material premezclado para concreto lanzado, que minimiza y facilita las operaciones en el lugar

### 4.5 Reparación de losas

La reparación de una superficie picada o descascarada depende, en gran parte, del tránsito que vaya a tener la nueva superficie. Cualquiera que sea el producto de reparación elegido, la superficie deteriorada debe ser preparada cuidadosamente. Se debe desbastar la superficie picada hasta llegar a una capa inferior sana, mediante un chorro de arena o de agua, con herramientas mecánicas tales como el cortador de piedra, o por cualquier otro método para mover el concreto defectuoso. Se debe evitar el pulido, ya que deja demasiado lisa la superficie. Una superficie áspera proporciona mejor adherencia al material de reparación.

Para reparaciones menores de áreas picadas o descascaradas muchos prefieren el empleo de materiales a base de acrílicos. Estos se pueden adquirir secos, en bolsas y, después de mezclarlos en agua, se pueden aplicar mediante una escoba para lograr una superficie antiderrapante, o bien, se pueden aplicar con llana. Tienen la ventaja de ser autoadherentes, fáciles de aplicar y resistentes a sales y productos químicos deshelantes. Sea grande o pequeña el área de la reparación, se le debe de dar una forma rectangular al perímetro, para obtener mejores resultados. Se debe de evitar en lo posible, dejar un área preparada que requiera un borde biselado.

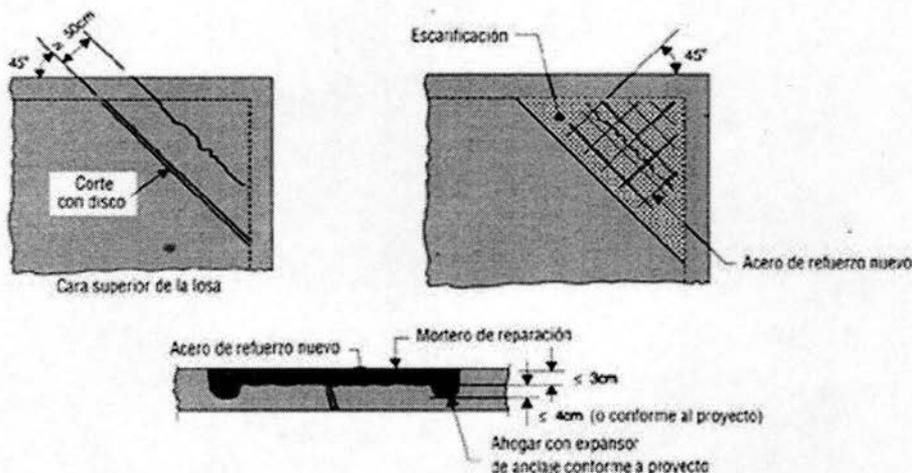


Fig. 4.5.1 Refuerzos – Momentos torsionantes (a) microconcreto de alta resistencia inicial y (b) concreto

**Alcance:** a) cualquier dimensión  $\leq 5$  cm  
 b) espesor  $\leq 10$  cm

**Sustrato:** cortar con cortadora de disco a la profundidad mínima de 1.0 cm. Tratar que la línea de corte quede alejada por lo menos 50 cm de la última fisura o atendiendo los requerimientos del diseño. Eliminar la parte superior un espesor de concreto de 3

cm. El sustrato debe estar saturado y seco, sin encharcamientos

- Preparación:* a) en una mezcladora mecánica adicionar agua al polvo, en proporción agua/polvo igual a 0.120, mezclar y homogeneizar por tres minutos
- b) relación agua total/cemento  $\leq 0.50$ ; revenimiento de 8 a 12 cm; aditivo plastificante y tamaño máximo característico del agregado de  $\leq \frac{1}{4}$  del espesor de la losa

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Colocar el nuevo acero de refuerzo a 45° según el proyecto, fijando los extremos de las barras con expansor de anclaje de base poliéster (fluido). Para fijarlo a las perforaciones usar ganchos a 90° con por lo menos 4 cm de profundidad. Con la superficie del concreto saturada pero sin encharcamientos, verter el microconcreto de endurecimiento rápido. Presionar fuertemente para obtener una buena compactación y llenado. Cuando la profundidad de la fisura supera la del concreto eliminado, es conveniente antes de fijar el refuerzo, inyectar lechada de base epóxica en la fisura

*Terminación:* a) con frota de madera o metálica. Poner en carga a los 14 días

- Curado:* a) dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola inmediatamente después de efectuar la reparación
- b) saturar con agua durante 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo, al iniciar el fraguado. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

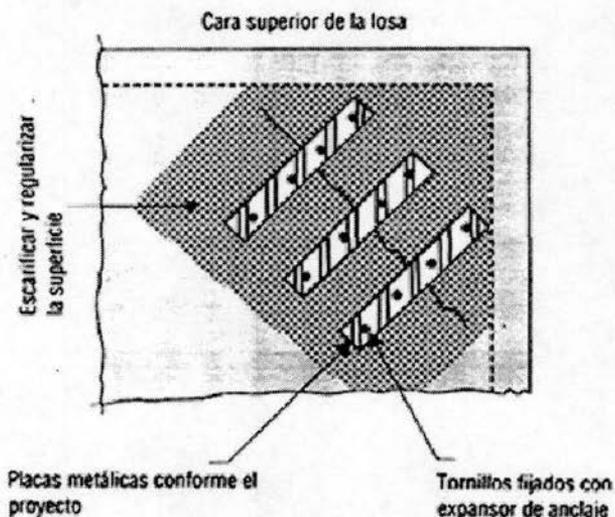


Fig. 4.5.2 Placas metálicas adheridas con resina epóxica

*Alcance:* refuerzos permanentes. No deben ser usados en situaciones de temperaturas elevadas ( $> 55^{\circ}\text{C}$ )

*Sustrato:* eliminar los revestimientos de pintura y capas de mortero, escarificar la capa superior del concreto (nata del concreto). Formar una superficie plana y rugosa. Si fuera necesario rellenar cavidades y regularizar la superficie con mortero (tixotrópico) de base epóxica, aplicado sobre el conector (puente) de adherencia, con adhesivo base epóxica (de baja viscosidad). Instantes antes de aplicar el conector (puente) de adherencia, limpiar la superficie del concreto que deberá estar seca, con chorro de aire comprimido o acetona. Las placas de acero deben ser preparadas con chorro de arena con lijado eléctrico como máximo dos horas antes de colocarlas. Instantes antes de la aplicación del adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero), limpiar y secar la superficie de las placas metálicas con chorro de aire comprimido seco, o acetona

*Preparación:* adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por tres minutos

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Las placas de acero deben tener orificios de 3 mm de diámetro a cada 15 cm para dejar escapar el aire, y deben tener espesor máximo de 4 mm. Se recomienda fijar las placas con el auxilio de tornillos y

tuercas. Estos tornillos deben ser previamente embebidos en el elemento estructural con espansor de anclaje de base poliéster (fluido). Aplicar el conector (puente) de adherencia, con adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) en la superficie del concreto con espesor de 2 a 3 mm. Aplicar el adhesivo de base epóxica (de tratamiento de a superficie de acero) en las superficie de las placas metálicas a ser colocadas. Presionar fuertemente las placas metálicas contra la superficie del elemento estructural, apretando las tuercas y con auxilio de los puntales, respetando el tiempo de manipulación y secado\* de los adhesivos. Presionando hasta obtener espesor uniforme del adhesivo, inferior a 1.5 mm

*Terminación:* retirar el apuntalamiento después de 48 horas. Eliminar los sobrantes de adhesivo antes del endurecimiento

*Curado:* poner carga solamente después de 7 días

*Cuidados:* trabajar con guantes y espejuelos de protección y en locales ventilados y limpiar equipo y herramienta con un solvente, antes de la polimerización del sistema epóxico

\* tiempo de manipulación, es el plazo disponible para aplicar el producto

\* tiempo de secado, es el plazo total, después de mezclar los componentes del primer o adhesivo, durante el cual el material es aún adherente. También conocido como tiempo para aplicar el resane.

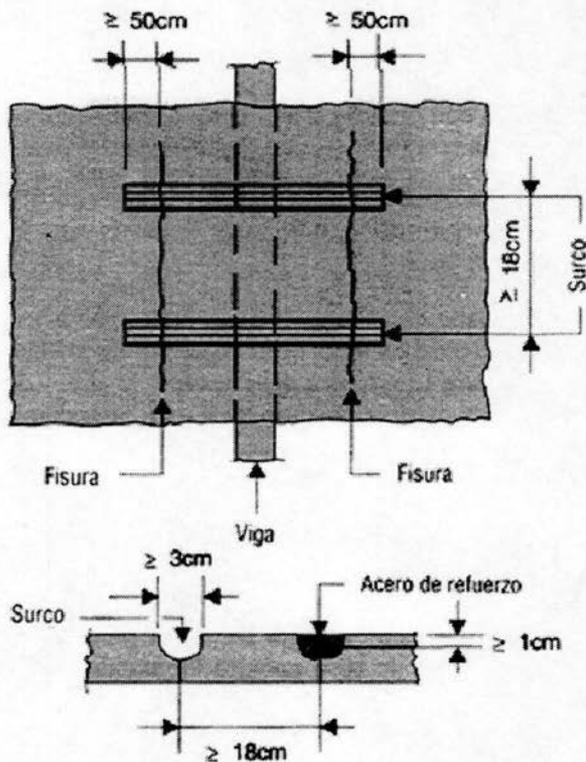


Fig. 4.5.3 Refuerzos - Flexión a) mortero de base epoxica y b) Mortero polimérico de base cemento

*Alcance:* rellenado de surcos

*Sustrato:* cortar con cortadora de disco (1.0 cm para superficies horizontales).  
Escarificar ranura de 3 x 3 cm.

- Limpiar la superficie con chorro de aire comprimido y acetona, instantes antes de aplicar el conector (puente) de adherencia, al concreto. La armadura debe ser lijada y limpiada con chorro de aire seco comprimido o acetona, instantes antes de la aplicación del adhesivo sobre la superficie seca
- El acero de refuerzo debe ser lijado y limpiado con chorro de aire comprimido y acetona

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por tres minutos. Para el caso (a), juntar poco a poco el agregado y homogeneizar por otros tres minutos

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Emplear varilla corrugada y tener en cuenta las longitudes de traslape para el anclaje recto, o aplicar ganchos rectos en los extremos fijándolos con expansor de anclaje de base poliéster (fluido).

- a) aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) respetando su tiempo de manipulación y secado\* llenar la ranura con mortero (tixotrópico) de base epóxica, correctamente compactado
- b) con la superficie de concreto saturada pero no encharcada, aplicar el conector (puente) de adherencia constituida por pasta de cemento: adhesivo de base acrílica: agua en relación 3:1:1, en volumen, y colocar el mortero polimérico de base cemento (de baja contracción). Presionar fuertemente para obtener buena compactación y llenado de la cavidad

*Terminación:* a) frota metálica. Poner en carga sólo después de 7 días

- b) frota de madera, espuma de goma ó metálica. Poner en carga sólo después de 21 días

*Cuidados:* a) trabajar con guantes y espejuelos de protección y en locales ventilados y limpiar equipo y las herramientas con un solvente, antes de la polimerización del sistema epóxico

*Curado:* húmedo por 7 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo, al iniciar el fraguado. En las primera 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

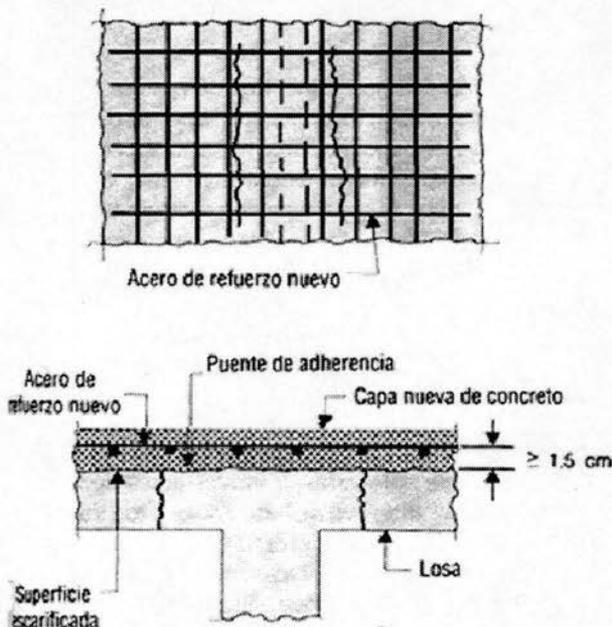


Fig. 4.5.4 Reparación con concreto

**Alcance:** formación de nueva capa resistente  $\leq 5.0$  cm

**Sustrato:** escarificar o usar chorro de arena, eliminar la nata de cemento y la suciedad superficial del concreto. Limpiar con chorro de aire comprimido o acetona, instantes antes de aplicar sobre la superficie seca, el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad)

**Preparación:** relación agua/cemento  $< 0.50$ ; revenimiento de 80 a 120 mm, aditivo plastificante y tamaño máximo característico del agregado grueso igual a  $\frac{1}{4}$  del menor espesor

**Aplicación:** posicionar el acero de refuerzo debe estar conforme al diseño, y verter el concreto respetando el tiempo de manipulación y secado\* del adhesivo\* base epóxica, (de baja viscosidad). Compactar correctamente

**Terminación:** frota de madera, espuma de goma o metálica. Poner en carga sólo después de 21 días

**Curado:** húmedo durante 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo,

al comenzar el fraguado. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar tapando la superficie

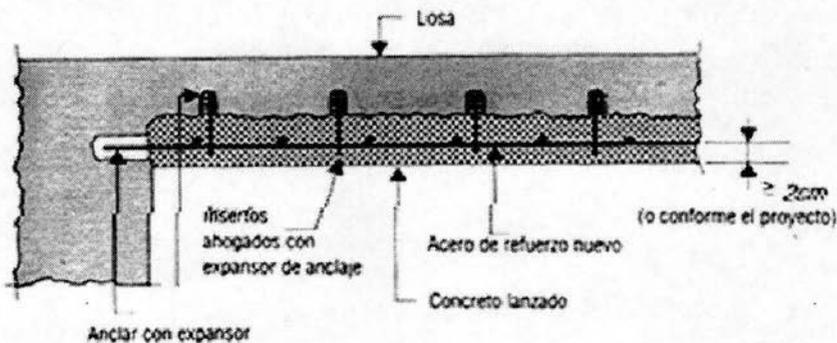


Fig. 4.5.5 Reparación con Concreto lanzado

*Alcance:* espesores  $\leq 5.0$  cm

*Sustrato:* escarificar o usar chorro de arena, eliminar la nata de cemento y la suciedad superficial del concreto. El sustrato debe estar saturado y con la superficie seca sin encharcamiento

*Preparación:* agregado grueso con tamaño máximo característico de  $\frac{1}{4}$  del menor espesor, dosificando en masa seca 1 de cemento para 2 a 2.5 de arena y agregado grueso, relación agua/cemento de 0.35 a 0.50

*Aplicación:* debe de estar conforme a diseño . Fijar el nuevo acero de refuerzo según el proyecto a través de tornillos embebidos en el concreto o fijándolo al refuerzo existente. El nuevo acero de refuerzo deberá quedar alejado por lo menos 0.5 cm de la superficie del concreto antiguo lo que se logra usando separadores. Verter el concreto con equipos de aire comprimido con espesor mínimo total de 3 cm. Según el proyecto este espesor podrá aumentarse para satisfacer los requerimientos, cuando el diagnóstico del problema fuera ambiente agresivo al acero de refuerzo y si se tratara de losas apoyadas o continuas, deben ser previstos los anclajes en las extremidades, junto a las vigas, utilizándose expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). No emplear aditivo acelerador de fraguado. El concreto sobrante será retirado mediante enrasamiento

*Terminación:* frota de madera, o apenas enrasado, o natural como salpicado

*Curado:* húmedo durante 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo, al comenzar el fraguado. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar tapando la superficie

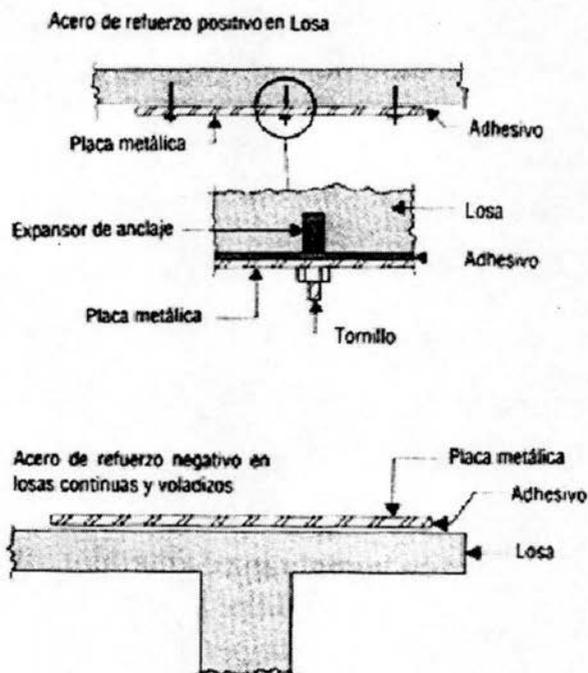


Fig. 4.5.6 Reparación con Placas metálicas adheridas con resina epóxica

*Alcance:* refuerzos estructurales permanentes que mantienen la estética y la geometría. No deben de ser usados en situaciones de temperaturas elevadas ( $> 55^{\circ}\text{C}$ )

*Sustrato:* eliminar os revestimientos de pintura y capas de mortero, escarificar la capa superior del concreto (nata de concreto). Formar una superficie plana y rugosa . Si fuera necesario rellenar cavidades y regularizar la superficie con mortero (tixotrópico) de base epóxica, aplicado sobre el conector (puente) de adherencia y adhesivo base epóxica (de baja viscosidad). Instantes antes de aplicar el conector (puente) de adherencia, limpiar la superficie del concreto que deberá estar seca, con chorro de aire comprimido o acetona. Las placas de acero deben ser preparadas con chorro de arena o lijado eléctrico como máximo 2 horas antes de colocarlas. Instantes antes de la aplicación del adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero), limpiar y secar la

superficies de las placas metálicas con chorro de aire comprimido seco, o acetona

*Preparación:* adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Las placas de acero deben tener orificios de 3 mm de diámetro a cada 15 cm para dejar escapar el aire, y deben tener espesor máximo de 4 mm. Se recomienda fijar las placas con el auxilio de tornillos y tuercas. Estos tornillos deben ser previamente embebidos en el elemento estructural con espansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Aplicar el conector (puente) de adherencia, con adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) en la superficie del concreto con espesor de 2 a 3 mm. Aplicar el adhesivo de base epóxica (de tratamiento de superficie del acero) en la superficie de las placas metálicas a ser colocadas. Presionar fuertemente las placas metálicas contra la superficie del elemento estructural, apretando las tuercas y con auxilio de los puntales, respetando el tiempo de manipulación y secado\* de los adhesivos. Presionando hasta obtener espesor uniforme del adhesivo, inferior a 1.5 mm

*Terminación:* retirar el apuntalamiento después de 48 horas. Eliminar los sobrantes de adhesivo antes del endurecimiento

*Curado:* poner carga solamente después de 7 días

*Cuidados:* trabajar con guantes y espejuelos de protección y en locales ventilados y limpiar equipo y herramienta con un solvente, antes de la polimerización del sistema epóxico

#### 4.6 Abertura en la parte superior

*Donde emplearla*

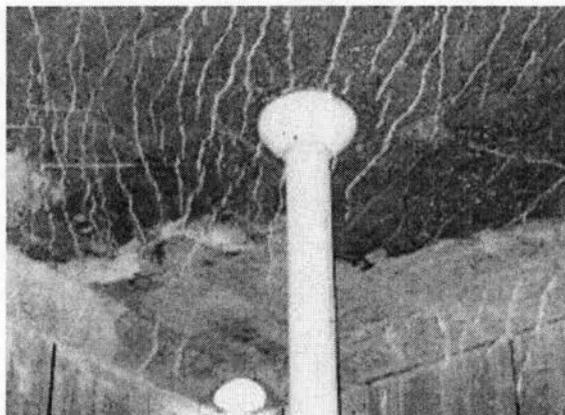


Fig. 4.6.1 Para reparaciones parciales o a toda profundidad en superficies horizontales.

*Descripción*

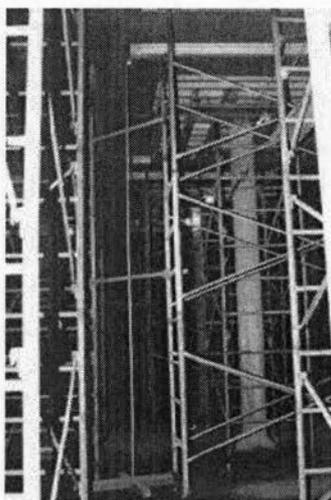


Fig. 4.6.2 Preparación y apuntalamiento de la zona a reparar.

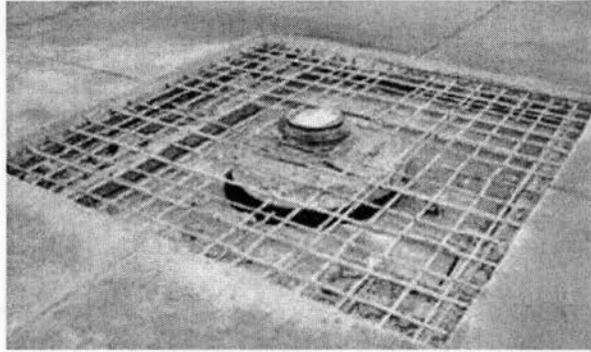


Fig. 4.6.3 El material de reparación se cuela directamente en la parte superior de la cavidad o molde preparado.

Debe vibrarse muy bien y después enrasarse, de modo que el nuevo material esté parejo y a nivel del concreto circundante. Este es el método de colocación más fácil y menos costoso.

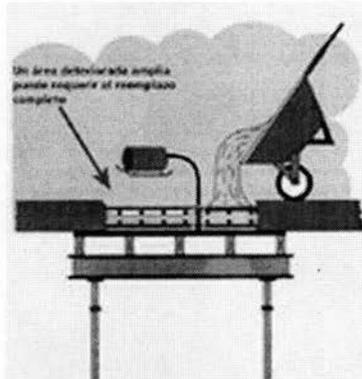


Fig. 4.6.4 Las superficies horizontales que tienen una abertura en la parte superior son las más fáciles y económicas de reparar.

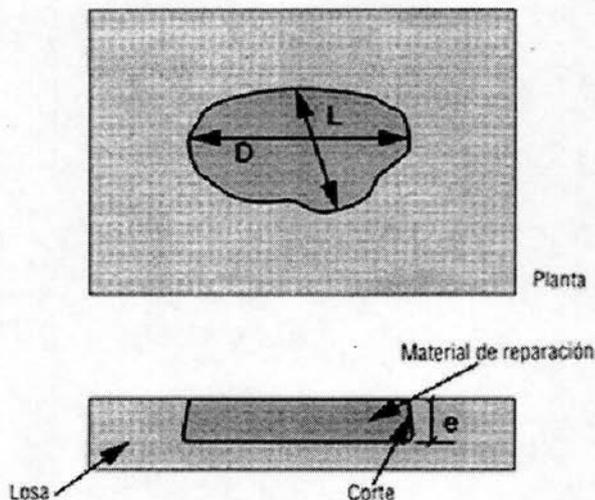


Fig. 4.6.5 Reparaciones de pisos – Microconcreto de alta resistencia inicial

*Alcance:*  $1.0 \leq e \leq 10.0$  cm / L x D 2.5 x 2.5 m

*Sustrato:* saturado y con superficie seca, sin encharcamiento

*Preparación:* en una mezcladora mecánica adicionar agua al polvo en la relación agua/polvo igual a 0.120. Mezclar y homogeneizar por 3 minutos

*Aplicación:* aplicar el microconcreto en el lugar de la reparación, en capas secuenciales. Espesores hasta 5 cm en una sola capa. En espesores mayores, que 5 cm (hasta 10 cm), esperar 1 hora después de colocar la primera capa y entonces colocar la otra.

*Curado:* dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola, brocha o rodillo inmediatamente después de descimbrar

*Importante:* El área reparada podrá ser liberada para el tránsito de peatones después de una hora y para el tránsito de vehículos, después de 2 horas acabada la reparación, con temperatura de 25°C

#### 4.7 Colado al fondo desde la parte superior

##### *Donde emplearlo*

En reparaciones de la parte inferior de elementos delgados, tales como losas. Esta técnica con frecuencia se utiliza para reparar losas de entresijos de estacionamientos y otras losas elevadas.

##### *Descripción*

Se taladran agujeros de colocación a través de la parte superior de la losa hasta el espacio vacío de abajo.



Figura 4.7.1. No se requiere equipo de bombeo para esta reparación elevada. Esta técnica se emplea con frecuencia para reparar losas, entresijos de estacionamientos y otras losas elevadas.

Por debajo de la superficie del área preparada se instala un molde y se vierte el material de reparación en la cavidad a través de los agujeros taladrados. El material puede colocarse por medio de embudos para crear una cabeza de presión a fin de ayudar a rellenar el vacío. El relleno completo de la cavidad depende de una muy buena vibración del material de reparación. El método preferido es colocar cabezas vibratoras en la cavidad que está siendo reparada, a través de los agujeros de colocación, y luego vibrar los moldes desde abajo.

El lado inferior del vacío en la losa debe prepararse de tal modo que minimice el aire atrapado a medida que el material nuevo rellena la cavidad. Tratar de no crear bolsas grandes en el vacío que puedan atrapar el aire. Si la formación de tales bolsas es inevitable, perforar un agujero a través de la losa hasta el área para dar salida al aire.

##### *Ventajas*

No se requiere equipo especial, tal como bombas de concreto, para colocar el material de reparación. Puesto que el material se coloca desde arriba, la gravedad ayuda a rellenar la cavidad. Al rellenar los agujeros de colocación, se logra anclar el material de reparación al elemento.

*Desventajas*

No siempre es posible perforar los agujeros de colocación donde se los necesita, ya que puede uno topar con acero de refuerzo o cables de postensado. El costo de la perforación puede ser alto si el constructor no tiene su propio equipo. Además, siempre existe la posibilidad de atrapar aire entre el nuevo material y la parte superior de la cavidad. Cualquier pérdida de material en el molde que no sea restituida puede causar un vacío en la línea de adherencia. Ésta técnica es práctica solamente para elementos relativamente delgados, debido a que los más gruesos requieren muchos agujeros y la vibración del material de reparación se hace más difícil.

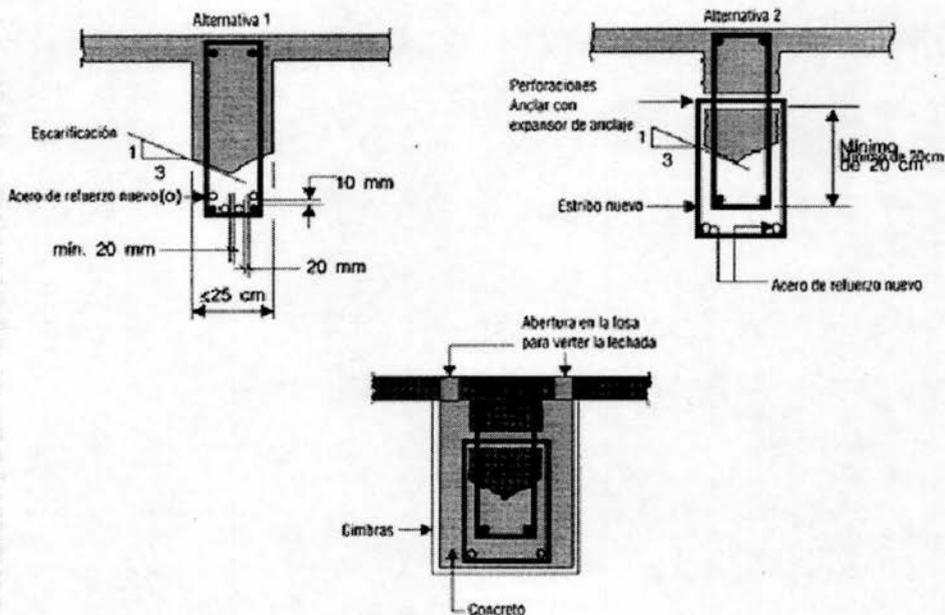


Fig. 4.7.2 Vigas. Refuerzos - Flexión a) microconcreto fluido y b) concreto

*Alcance:* a) refuerzos donde la mayor dimensión de la sección no supera los 30 cm  
 b) refuerzos con cualquier dimensión

*Sustrato:* concreto demolido con la superficie preparada en pendiente 3 a 1, escarificado y seco, aplicando el conector (puente) de adherencia formado por un adhesivo de base epóxica de baja viscosidad directamente al sustrato seco

*Preparación:* a) en una mezcladora mecánica, adicionar agua al microconcreto con relación agua/polvo de 0.126, mezclar y homogeneizar por 3 minutos.

- b) relación agua total/cemento < 0.50; revenimiento de 10 a 15 cm; aditivo super-fluidificante y tamaño máximo del agregado grueso igual a  $\frac{1}{4}$  de la mayor dimensión de la pieza

*Aplicación:* conforme al diseño. Si fuera necesario habrá que perforar la viga y colocar nuevos estribos por lo menos a 20 cm de la cara inferior y fijarlos con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Colocar el nuevo acero de refuerzo longitudinal distanciado del existente aproximadamente 1 cm a la vertical y 2 cm en la horizontal. Fijar las puntas del acero de refuerzo longitudinal a los pilares con el expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico), con una longitud de anclaje indicada por el proyecto, como mínimo 6 cm. Preparar las cimbras herméticas y rígidas. Retirar la cimbra y verter el microconcreto fluido respetando su tiempo de manipulación y secado\*.

- a) El microconcreto fluido debe ser colocado suavemente y sin interrupción por un solo lado de la viga, evitando la formación de bolsas de aire, hasta alcanzar 10 cm encima de la superficie de contacto con el concreto viejo
- b) El concreto debe ser vertido por un solo lado de la viga hasta que aparezca del otro lado, evitándose la formación de bolsas de aire. Compactar con vibradores

*Terminación:* al descimbrar y por lo menos 48 horas después, eliminar los sobrantes, siempre de abajo para arriba evitando rasgaduras. Si fuera necesario dar terminación con mortero polimérico de base cemento ( de baja contracción)

*Curado:* para el caso (a) húmedo por 7 días y para el caso (b) 14. O dos manos de un adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola, brocha o rodillo, inmediatamente después de descimbrar. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

*Cuidados:* apuntalar la estructura descargando la viga antes de la ejecución del reforzamiento. Retirar los puntales sólo después de 7 días o más

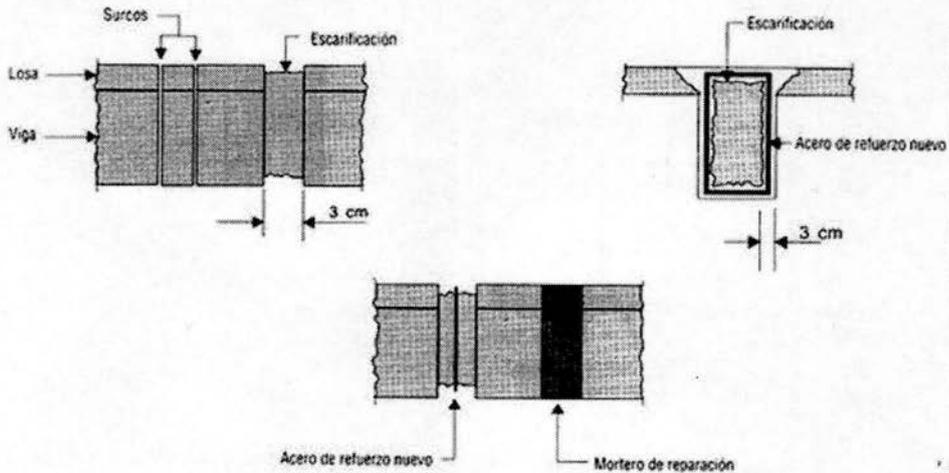


Fig. 4.7.3 Refuerzo – cortante con mortero de base epóxica

*Alcance:* conservación de la geométrica de la sección original

*Sustrato:* cortar con cortadora de disco ( $\geq 0.5$  cm para superficies verticales y  $\geq$  para superficies horizontales). Escarificar ranura de 3 x 3 cm. Limpiar con chorro de aire comprimido seco o eventualmente con acetona, instantes antes de aplicar el conector (puente) de adherencia al concreto con la superficie seca. El acero de refuerzo debe ser lijado y limpiado con chorro de aire seco comprimido o acetona, instantes antes de la aplicación del adhesivo

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos. Juntar poco a poco los agregados y homogeneizar por otros tres minutos

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Emplear varilla corrugada y tener en cuenta las longitudes de traslape para el anclaje recto, o aplicar ganchos rectos en los extremos fijándolos con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) respetando el tiempo de manipulación y secado\* llenar la ranura con mortero (tixotrópico) de base epóxica, correctamente compactado

*Terminación:* frotado mecánico. Poner en carga sólo después de 7 días

*Curado:* proteger de la irradiación solar directa durante las primeras cinco horas

*Cuidados:* Trabajar con guantes y espejuelos de protección, en locales ventilados y limpiar el equipo y las herramientas con un solvente antes de la polimerización del sistema epóxico

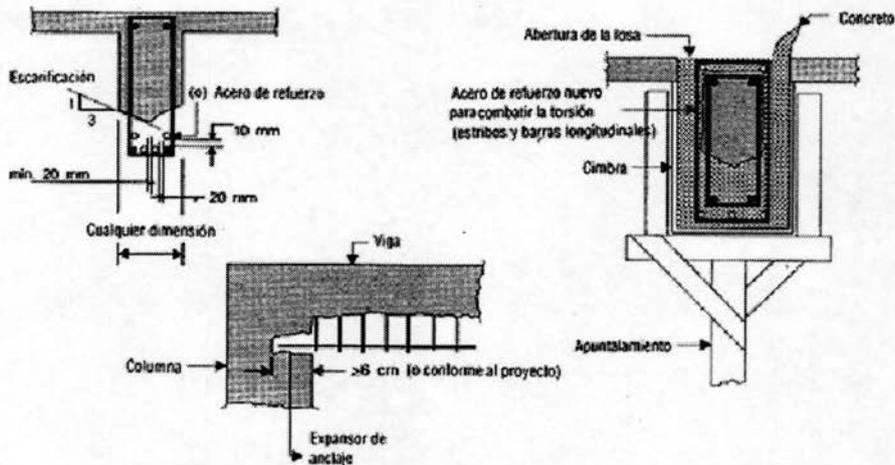


Fig. 4.7.4 Refuerzos – Torsión con a) Lechada de base cemento / microconcreto fluido y b) Concreto

*Alcance:* a) espesor  $\leq 6$  cm – mortero fluido de base cemento espesor  $\leq 30$  cm – microconcreto fluido

b) refuerzos en cualquier dimensión

*Sustrato:* concreto demolido con la superficie perfilada en inclinación 3 a 1, escarificado y seco con aplicación de conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad)

*Preparación:* a) en una mezcladora mecánica, adicionar agua al polvo en la relación agua/polvo igual a 0.140 para el mortero fluido de base cemento y 0.126 para el microconcreto fluido. Mezclar y homogeneizar por 3 minutos

b) relación agua total/cemento 0.50; revenimiento de 10 a 15 cm; aditivo superplastificante y tamaño máximo del agregado grueso igual a  $\frac{1}{4}$  de la menor dimensión de la pieza

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Colocar el nuevo acero de refuerzo longitudinal espaciado del existente aproximadamente 1 cm en la vertical y 2 cm en la horizontal. Ahogar las puntas del acero de refuerzo longitudinal a los pilares con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico), con una longitud de anclaje indicada por el

proyecto, como mínimo 6 cm. Preparar cimbras herméticas y rígidas. Retirar la cimbra, aplicar adhesivo epóxico (de baja viscosidad), recolocar la cimbra y verter la lechada o el microconcreto mortero fluido de base cemento o microconcreto fluido respetando el tiempo de manipulación y secado\*.

- a) La lechada o microconcreto debe ser colocada suavemente y sin interrupción por un solo lado de la viga hasta que aparezca del otro lado, evitando la formación de bolsas de aire.
- b) El concreto debe ser vertido por un solo lado de la viga hasta que aparezca del otro lado, evitando la formación de bolsas de aire. Compactar con vibradores

*Terminación:* a) al retirar la cimbra y después de por lo menos 48 horas, cortar los sobrantes, siempre de abajo para arriba evitando rasgaduras. Si fuera necesario, se termina con mortero polimérico de base cemento (de baja contracción)

- b) frota de madera

*Curado:* húmedo por 7 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo inmediatamente después de descimbrar. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

*Cuidados:* apuntalar la estructura descargando la viga antes de la ejecución de las reparaciones. Retirar los puntales para el caso (a) sólo después de 7 días y para el caso (b) sólo después de 21 días.

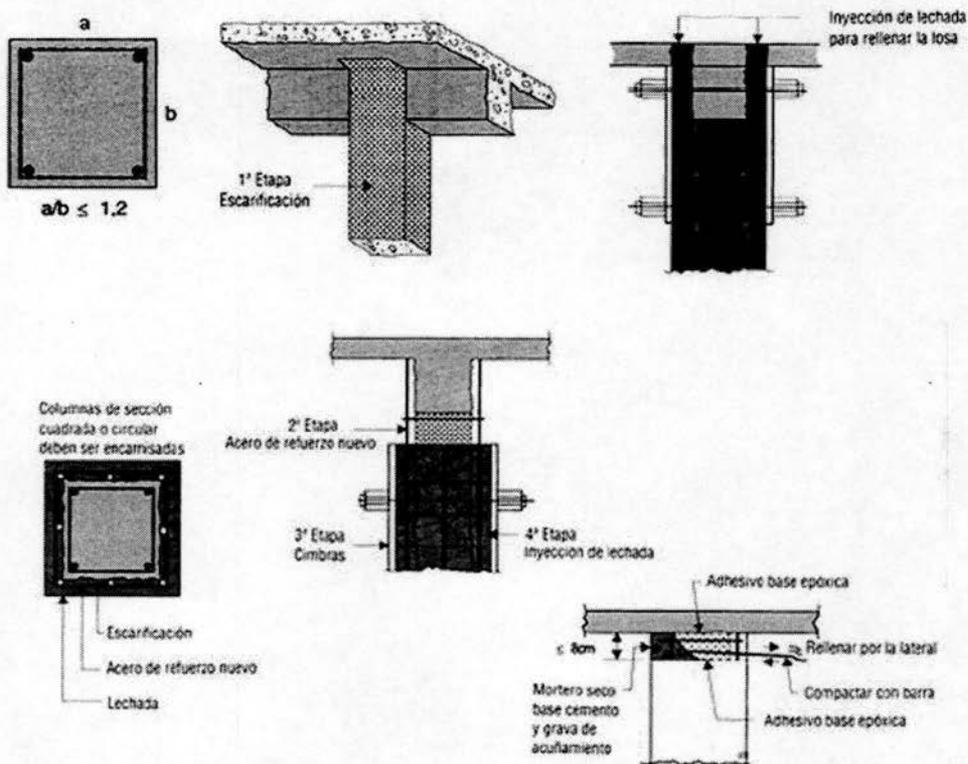


Fig. 4.7.5 Columnas – Refuerzos con a) Lechada de base cemento / microconcreto fluido, b) Lechada de base epoxica y c) concreto

**Alcance:** a) espesor en la sección transversal  $\leq 6$  cm – mortero fluido de base cemento espesor en la sección transversal  $\leq 30$  cm – microconcreto fluido

b) espesor en la sección transversal de 1 a 4 cm – lechada fluida de base epoxica, espesor en la sección transversal de 3.5 a 7 cm – lechada fluida de base epoxica para reparaciones profundas

c) cualquier dimensión siempre que  $\geq 6.0$  cm

**Sustrato:** desbastar las aristas y eliminar todo el concreto dañado del núcleo de la columna original. Escarificar o erosionar (con chorro de arena) la superficie del concreto viejo para mejorar la adherencia tanto de la columna como de la viga, la losa y el cimientto.

a) y c) El sustrato debe estar seco y sobre él aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epoxica (de baja viscosidad)

b) Instantes antes de verter la lechada, limpiar con chorro de aire comprimido seco o acetona

- Preparación:*
- a) en una mezcladora mecánica, adicionar agua al polvo en la relación agua/polvo igual a 0.140 para el mortero fluido de base cemento y 0.126 para el microconcreto fluido. Mezclar y homogeneizar por 3 minutos
  - b) en una mezcladora mecánica, adicionar agua al componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos. Juntar poco a poco el agregado y homogeneizar por otros 3 minutos
  - c) relación agua total/cemento  $< 0.50$ ; revenimiento de 10 a 15 cm; aditivo superplastificante y tamaño máximo del agregado grueso igual a  $\frac{1}{4}$  de la menor dimensión de la pieza

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Perforar las losas o cimientos para anclar las barras longitudinales a una profundidad  $\geq 6$  cm. Limpiar las perforaciones en seco y fijar las barras longitudinales con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Colocar separadores en el refuerzo longitudinal y en los estribos:

- a) tanto para mantener a 1.5 cm del núcleo como para garantizar un recubrimiento mínimo de 1.5 cm. Ajustar las cimbras en tramos de altura máxima 1.10 m. Retirarlas y aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo epóxico (de baja viscosidad). Recolocar la cimbra y verter el mortero fluido.
- b) tanto para mantener a 1.0 cm del núcleo como para garantizar un recubrimiento mínimo de 1.0 cm. Ajustar las cimbras en tramos de altura máxima 1.10 m. Verter la lechada, compactando cuidadosamente para retirar las bolsas de aire. Emplear desmoldantes en la cimbra y descimbrar pasadas tres horas, repitiendo la operación en el tramo superior. En el último tramo la lechada deberá ser vertido a través de los orificios practicados a la losa
- c) tanto para mantener a 2.0 cm del núcleo como para garantizar un recubrimiento mínimo de 2.0 cm. Retirarlos y aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo epóxico (de baja viscosidad). Recolocar la cimbra y verter el concreto, compactándolo bien. Emplear desmoldante.

Descimbrar pasadas 48 horas, y repetir la operación en el tramo superior. En el último tramo el material deberá ser vertido a través de los orificios practicados a la losa. En caso que esto último no sea posible, entonces rellenar a una altura no superior a 8 cm con mortero seco de base cemento

*Curado:* Para caso (a) húmedo por 7 días y para el caso (c) saturado de agua por 14 días. O dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo inmediatamente después de descimbrar

b) poner en carga sólo pasados 2 días

*Cuidados:* apuntalar la estructura descargando la viga antes de la ejecución de las reparaciones.

a) Retirar los puntales sólo después de 7 días

b) Retirar los puntales sólo después de 2 días

c) Restaurar los puntales sólo después de 14 días

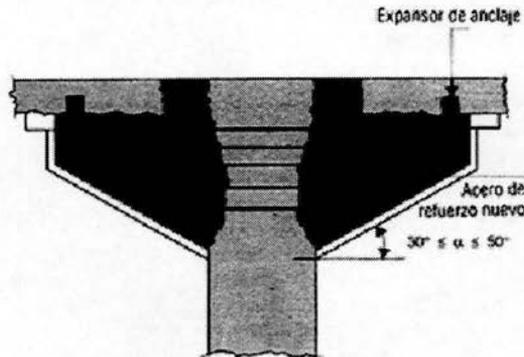


Fig. 4.7.6 Refuerzos columnas / losas– Punzonamiento

*Alcance:*  $\leq 6$  cm para mortero fluido de base cemento y  $\leq 30$  cm para microconcreto fluido

*Sustrato:* demoler el concreto de la losa en la región afectada. Delimitar con cortadora de disco ( $\leq 1.0$  cm en la parte superior y  $\geq 0.5$  cm en el inferior). Escarificar la cabeza de la columna y redondear las aristas. Limpiar y secar con chorro de aire seco comprimido o acetona y aplicar conector (puente) de adherencia y adhesivo base epóxica (de baja viscosidad)

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar agua al polvo en la relación agua/polvo igual a 0.140 para el mortero fluido de base cemento y 0.126 para el microconcreto fluido. Mezclar y homogeneizar por 3 minutos

*Aplicación:* montar el acero de refuerzo conforme al diseño. Ajustar las cimbras que deberán estar preparados con desmoldante. Retirarlas y aplicar el adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) en el concreto viejo

Recolocar la cimbra y verter la lechada respetando el tiempo de manipulación y secado del adhesivo\*. Colocar la lechada siempre por el mismo lado para evitar que se formen bolsas de aire

*Curado:* húmedo por 7 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo inmediatamente después de descimbrar. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

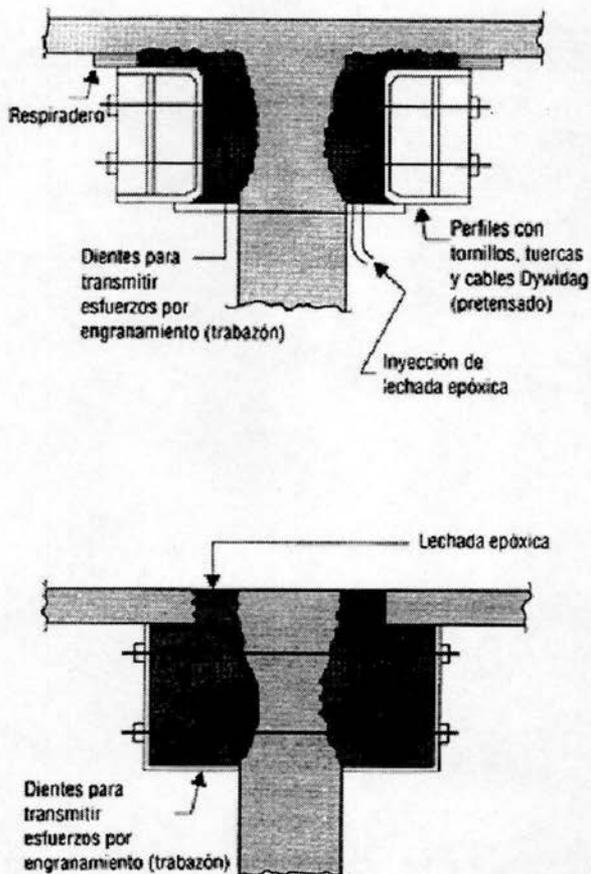


Fig. 4.7.7 Perfiles metálicos postensados (lechada fluida de base epóxica para reparaciones profundas)

*Alcance:* espesor de la sección  $\leq 7$  cm columna y losa con concreto de buena calidad y poco fisurado (temperaturas  $< 55^{\circ}$  C)

*Sustrato:* escarificar la cabeza de la columna retirando la nata superficial del concreto. Erosionar con chorro de arena o con lijado, la superficie inferior de la losa, eliminando la nata superficial del concreto. Después de terminados estos trabajos e instantes antes de la inyección de la lechada de base epóxica, aplicar chorro de aire seco comprimido o acetona para obtener una superficie metálica con chorro de arena, lijadora eléctrica o dejar rugosidades en la superficie, lijando manualmente y limpiando con chorro de aire comprimido o acetona, instantes antes del montaje

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por tres minutos. Juntar poco a poco el agregado, mezclar bien y homogeneizar por 3 minutos

*Aplicación:* posicionar el refuerzo metálico e inyectar o verter la lechada de base epóxica (para reparaciones profundas). Esperar por lo menos 24 horas. Postensar los perfiles metálicos con ayuda de tornillos y tuercas, o tensores tipo Dywidag, conforme la figura

*Terminación:* retirar el material sobrante antes de que endurezca

*Curado:* evitar la irradiación solar directa y la humedad en las primeras 5 horas

*Cuidado:* trabajar con guantes y espejuelos de protección y en locales ventilados y limpiar el equipo y herramientas con un solvente, antes de la polimerización del sistema epóxico

*\* tiempo de manipulación, es el plazo disponible para aplicar el producto*

*\* tiempo de secado, es el plazo total, después de mezclar los componentes del primer o adhesivo, durante el cual el material es aún adherente. También conocido como tiempo para aplicar el resane*

#### 4.8 Pico de pájaro

##### *Donde emplearlo*

Para preparar cavidades verticales que no pueden ser rellenadas desde la parte superior.

##### *Descripción*

La cara de la cavidad de reparación se prepara con un molde desde la parte inferior hasta justo unos pocos centímetros abajo de la parte superior. Esta sección de molde se asegura fijamente a la superficie del concreto. Después se agrega una sección inclinada o "pico de pájaro" desde la parte superior del molde del plano, proyectándose hacia afuera desde la superficie acabada con un ángulo de aproximadamente 45 grados y extendiéndose varios centímetros por encima de la parte superior de la cavidad.

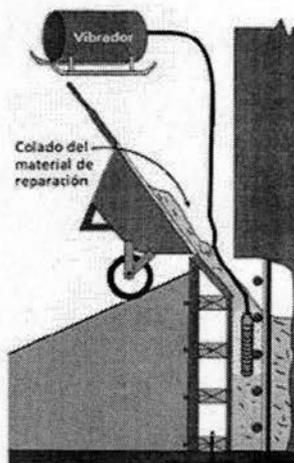


Figura 4.8.1. El método de pico de pájaro se utiliza para reparar cavidades verticales que no pueden ser llenadas desde la parte superior. La sección inclinada del molde permite que el material se coloque en éste desde un punto más alto que la parte superior de la cavidad, para permitir un llenado completo de la misma.

Esto forma una canaleta que permite que el material pueda colarse en la cavidad. También facilita la colocación del material en el molde desde un punto más alto que la parte superior de la cavidad para permitir el llenado completo de la misma. Después que la cavidad ha fraguado, se quita el material sobrante.

La garganta creada por el pico de pájaro y la parte superior de la cavidad deben ser lo suficientemente grandes para permitir que se inserte un vibrador en el área de reparación. La vibración es muy importante para asegurar el relleno completo de la cavidad y para quitar las bolsas de aire.

*Ventajas*

Esta técnica de colocación no requiere equipo especial -a menudo el material se lleva desde la mezcladora hasta el molde por medio de cubos-. También se puede utilizar una bomba para colocar el material en el molde.

*Desventajas*

Este método debe usarse solamente para colocaciones que no sean muy altas, ya que el agregado puede segregarse de la mezcla cuando el material cae en caída libre hasta la parte inferior del molde. Además, para quitar el pico de pájaro es necesario cincelar y reparar la superficie de la que deba retirarse.

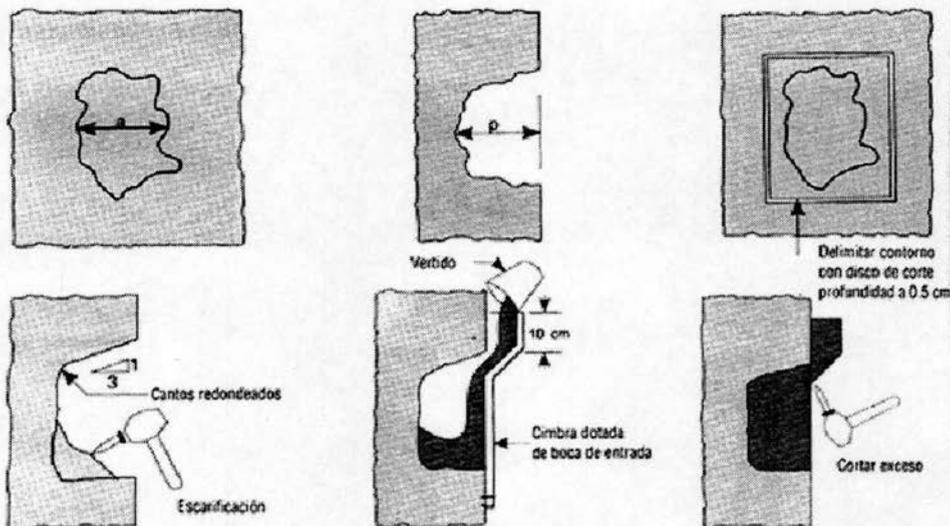


Fig. 4.8.2 Reparaciones profundas a) Lechada de base cemento / Microconcreto fluido y b) concreto

*Alcance:* a) profundidad  $\leq 6$  cm - mortero de base cemento profundidad de 3 a 30 cm – microconcreto fluido  
 b) cualquier profundidad  $\leq 4$  cm

*Sustrato:* Saturado y con superficie seca, sin encharcamiento, o seca con adhesivo epóxico (de baja viscosidad)

*Preparación:* a) en una mezcladora mecánica, adicionar agua al polvo en la relación agua/polvo igual a 0.140, para el mortero fluido de base cemento y 0.126 para el microconcreto fluido, mezclar y homogeneizar por 3 minutos.

- b) relación agua total/cemento 0.50; revenimiento de 10 a 15 cm, aditivo superplastificante; tamaño máximo del agregado igual a  $\frac{1}{4}$  de la menor dimensión de la pieza

*Aplicación:* preparar las cimbras herméticas y rígidas con boca de entrada. Retirar las cimbras si fuera necesario para efectuar la saturación del sustrato o con la superficie seca aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) y volver a colocarlos.

- a) Verter el mortero fluido de base cemento o el microconcreto fluido, respetando el plazo de secado del adhesivo. Cuidar el plazo máximo de 20 minutos para verter el material, después de mezclarlo
- b) Verter el concreto respetando el plazo de manipulación y secado del adhesivo. Compactar con vibrador pequeño de inmersión

Evitar bolas de aire vertiendo calmadamente y sin interrupción siempre por el mismo lado, hasta alcanzar una altura de 10 cm por encima del límite de la cavidad a reparar.

*Terminación:* al retirar la cimbra para el caso (a) después de 24 horas y para el caso (b) después de por lo menos 48 horas. Cortar los sobrantes, siempre de abajo para arriba evitando desgarres. Si fuera necesario, se termina con mortero polimérico de baja contracción base cemento

*Curado:* Para el caso (a) húmedo por 7 días y para el caso (b) saturar con agua por 14 días. O dos manos de un adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola o después de fraguar con pincel, brocha o rodillo. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

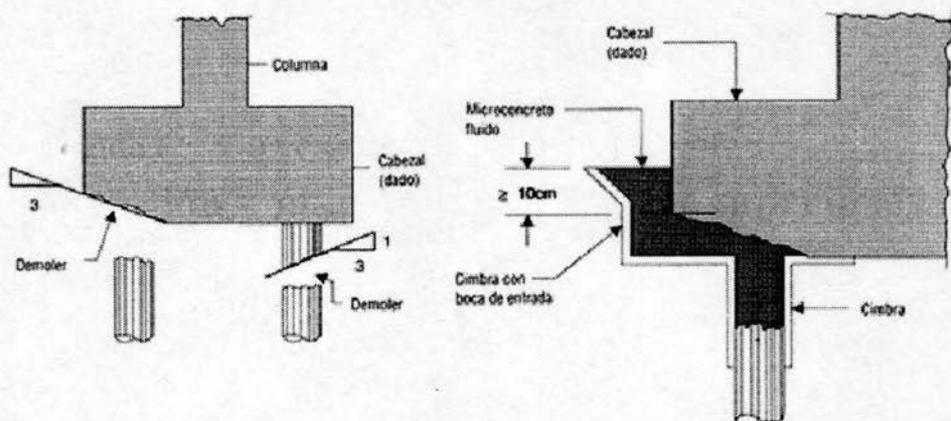


Fig. 4.8.3 Cimentaciones. Refuerzos – Pilotes a) Microconcreto fluido y b) concreto

*Alcance:* a) llenado de cavidades, donde la mayor dimensión sea  $\leq 30$  cm  
b) llenado de cavidades con cualquier dimensión ( $e \leq 5$  cm)

*Sustrato:* Saturado y con superficie seca, sin encharcamiento

*Preparación:* a) en una mezcladora mecánica, adicionar agua al polvo según la relación agua/polvo 0.126  
b) relación agua/cemento  $< 0.50$ ; revenimiento de 10 a 15 cm; aditivo superplastificante y tamaño máximo característico del agregado grueso de  $\frac{1}{4}$  de la menor dimensión de la pieza

*Aplicación:* cuando se trate de cabeza de pilote, demoler las aristas del cabezal para facilitar el colado. Colocar nuevo acero de refuerzo de acuerdo al diseño y las cimbras deben tener bocas de vertido.

- a) Verter el microconcreto fluido de manera suave e ininterrumpida, siempre por el mismo lado, hasta alcanzar una altura de 10 cm por encima de la cavidad
- b) Verter el concreto compactándolo bien con un vibrador adecuado

*Curado:* para el caso (a) húmedo durante 7 días y para el caso (b) húmedo durante 14 días. O dos manos de un adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola, brocha o rodillo. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

## 4.9 Moldes y bombas

### *Donde emplearlo*

En áreas de reparación elevadas y verticales en las que no son apropiadas otras técnicas de colocación debido a la geometría de los elementos que han de repararse. Se incluyen en tal situación la parte inferior de vigas de gran peralte, elementos con acero de refuerzo apretadamente espaciado y áreas de reparación muy grandes.

### *Descripción*

El concreto del sustrato se repara adecuadamente y se instala el molde. Con frecuencia se trata de un molde completamente cerrado e impermeable que está equipado con puertos de bombeo, válvulas y respiraderos.

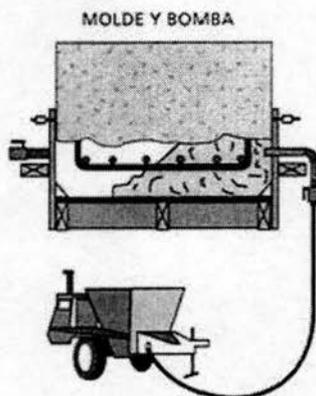


Fig. 4.9.1. Al inyectar presión al material de reparación, el método de molde y bombeo lo obliga a estar en íntimo contacto con el concreto original y con el acero de refuerzo.

Para manejar la presión del bombeo, los moldes se hacen más fuertes que los convencionales. La manguera de la bomba de concreto se conecta directamente al molde y el material se bombea hacia el interior de éste. Si el molde está completamente cerrado, puede inyectarse presión con la bomba.

### *Ventajas*

La colocación del material de reparación es más rápida que en la mayor parte de los otros métodos. Si el molde está presurizado, se obliga al material de reparación a estar en contacto más íntimo con el concreto original. Esto crea una mejor adherencia entre el concreto nuevo y el viejo y permite un encapsulamiento completo del acero de refuerzo. Se depende menos de la habilidad de los trabajadores que en algunas de las otras técnicas de reparación.

### Desventajas

Los costos de los moldes son más altos debido a la rigidez que se requiere para resistir la presión del bombeo. Además, este método implica el costo adicional de las válvulas, los respiraderos y el equipo de bombeo. Si el molde debe ser impermeable, como se requiere al colocarse en una posición elevada, también hay un costo adicional.

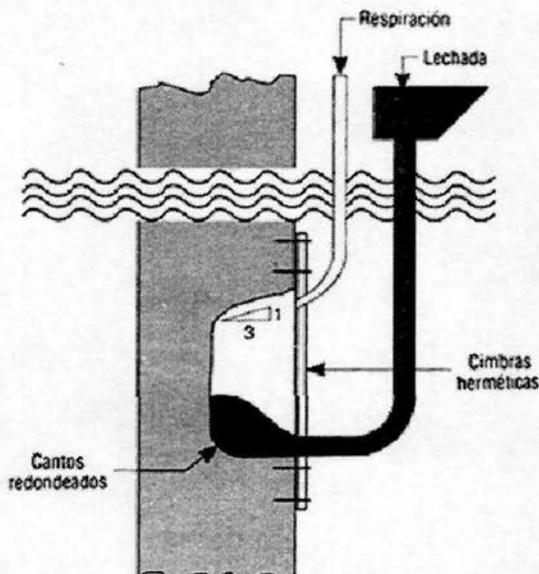


Fig. 4.9.2 Reparaciones / Refuerzos – inmersos Lechada bombeable de base cemento

**Alcance:** reparaciones, refuerzos inmersos en agua dulce o salada de hasta 25 cm de espesor

**Sustrato:** preparar la cavidad (buzo) eliminando el concreto viejo. Cuando se trata de refuerzo, este debe envolver el elemento estructural

**Preparación:** en una mezcladora mecánica, adicionar la lechada bombeable de base cemento al agua en la relación agua/polvo igual a 0.22 y mezclar enérgicamente por lo menos 5 minutos

**Aplicación:** preparar las cimbras herméticas y rígidas, fijándolas bien contra la estructura y dejando espacio para la entrada de la lechada a presión (inyectada o por gravedad). En cavidades de poca profundidad ( $< 6.0$  cm), inyectar la lechada bombeable de base cemento sin añadir los agregados. En cavidades mayores emplear el sistema de concreto pre-pack. Cuidar el plazo máximo de 20 minutos para verter el material, después de mezclarlo

*Terminación:* si fuera necesario, retirar los sobrantes después de 36 horas

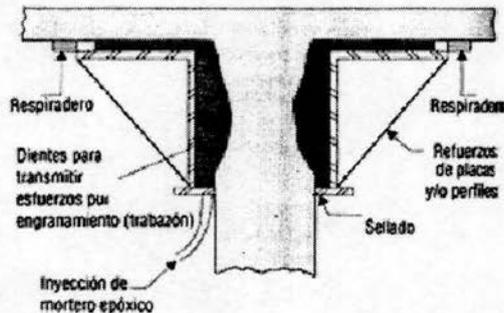


Fig. 4.9.3 Placas metálicas adheridas con resina epóxica lechada fluida de base epóxica para reparaciones profundas

*Alcance:* espesor de la sección  $\leq 7$  cm columna y losa con concreto de buena calidad y poco fisurado (temperaturas  $< 55^{\circ} \text{C}$ )

*Sustrato:* escarificar la cabeza de la columna en toda la altura que será reforzada, retirando la nata superficial del concreto. Limpiar y secar la superficie inmediatamente antes de ajustar el refuerzo metálico y hacer el sellado; limpiar la superficie metálica con chorro de arena, lijadora eléctrica o lijado manual y aplicar acetona antes del montaje

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por tres minutos. Juntar poco a poco el componente agregado, mezclar bien y homogeneizar por otros 3 minutos

*Aplicación:* posicionar el refuerzo metálico e inyectar por la parte inferior la lechada de base epóxica (para reparaciones profundas), hasta que emerja por los orificios superiores

*Terminación:* retirar el material sobrante antes de que endurezca

*Curado:* evitar la irradiación solar directa y la humedad en las primeras 5 horas

*Cuidado:* trabajar con guantes y espejuelos de protección y en locales ventilados y limpiar el equipo y herramientas con un solvente, antes de la polimerización del sistema epóxico

#### 4.10 Aplicación a mano

##### *Donde emplearla*

En áreas de reparación horizontales o elevadas de menos de dos y medio centímetros de espesor, con poco o ningún acero de refuerzo.

##### *Descripción*

Después de reparar la superficie, los materiales se mezclan hasta una consistencia apropiada y entonces el trabajador utiliza una llana para presionar el material en la cavidad o aplicarlo en la superficie. En superficies horizontales tales como pisos y banquetas, se emplea un material delgado para nivelar la superficie, repararla si está desconchada, o cambiar su textura. En superficies elevadas, se debe usar un material que no se asiente, y puede ser necesario colocarlo en varias capas para evitar que se asiente o contraiga.

##### *Ventajas*

Los costos del equipo son mínimos, y los trabajadores pueden lograr diferentes texturas de superficie. Este método se utiliza con frecuencia para pequeñas áreas de reparación.

##### *Desventajas*

El acabado y la compactación del material de reparación dependen de la habilidad del trabajador que lo coloca. Puesto que las reparaciones son delgadas y pueden necesitar hacerse en superficies elevadas, tal vez hagan falta materiales especiales patentados. Si hay que colocar varias capas, es habitual que se requiera reparación entre las mismas. Debido a que no se emplean moldes, se debe dar énfasis especial al curado.

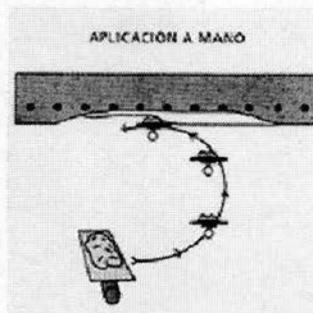


Fig. 4.10.1. Los morteros que no se contraen se aplican a menudo con llana en áreas de reparación poco profundas en superficies elevadas.

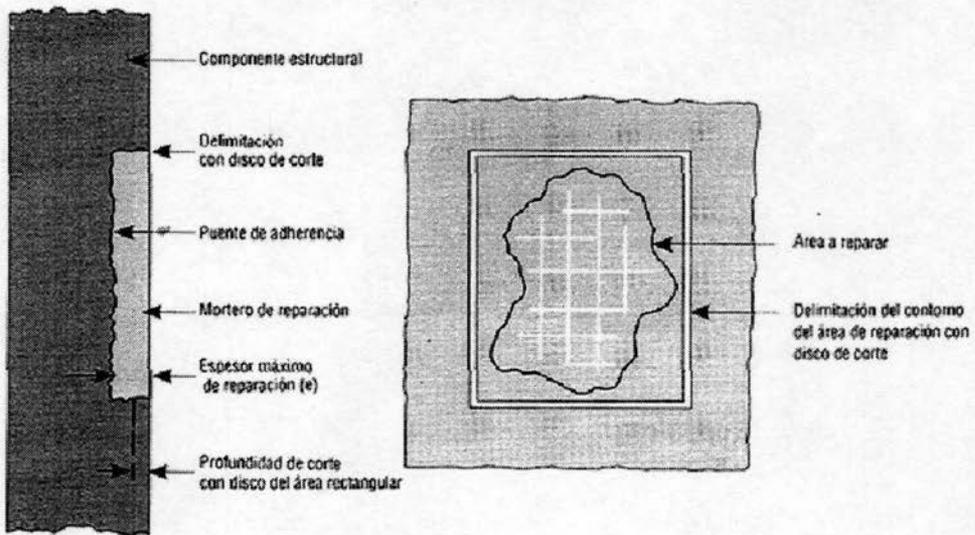


Fig. 4.10.2 Reparaciones superficiales puntuales a) Mortero polimérico de base cemento, b) Mortero de base epoxica y c) Mortero de base poliéster

*Alcance:*  $0.5 \text{ cm} \leq e \leq 1.5 \text{ cm}$ ; área  $50 \times 50$  o franjas lineales de ancho  $10 \text{ cm}$  y largo  $1.0 \text{ m}$

*Corte de contorno:* a) espesor  $\geq 0.5 \text{ cm}$  para superficies en general. Espesor  $\geq 1.0 \text{ cm}$  para pisos  
b) y c) profundidad de  $0.5 \text{ cm}$

*Sustrato:* a) saturado y con superficie seca, sin encharcamiento  
b) y c) seco, efectuándose limpieza con chorro de aire seco comprimido o eventualmente usándose acetona para limpiar y secar

*Preparación:* a) en una mezcladora mecánica, adicionar el componente agregado al componente resina.  
b) en una mezcladora mecánica, adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos. Juntar poco a poco el componente agregados.  
c) verter la resina en un balde plástico limpio. Adicionar lentamente el agregado,

Homogeneizar por 3 minutos.

*Aplicación:* aplicar conector (puente) de adherencia

a) constituido por la pasta de cemento con adhesivo de base acrílica, en relación  $3:1:1$  (cemento: adhesivo de base acrílica: agua), en

- volumen. Presionar fuertemente el mortero (de baja contracción) con el sustrato en capas secuenciales de 1.0 cm hasta alcanzar el máximo espesor deseado ( $\leq 2.5$  cm)
- b) con adhesivo base epóxica. Respetando el tiempo de manipulación y de secado del primer, aplicar el mortero (tixotropico) de base epóxica, presionando fuertemente contra la base, en capas secuenciales de 0.5 cm hasta alcanzar el espesor deseado ( $\leq 1.5$  cm). Mantener temperatura ambiente entre 10 y 30°C. Para espesores mayores, desfasar las capas 5 horas, manteniendo las superficies que recibirán la nueva capa, ranuradas para facilitar la adherencia a la capaposterior
- c) presionar fuertemente el mortero de base poliéster contra el sustrato, en capas secuenciales de 0.5 cm hasta alcanzar el espesor deseado ( $\leq 1.5$  cm). Para espesores mayores desfasar las capas por más de 5 horas manteniendo las superficies que recibirán la nueva capa, ranuradas para facilitar la adherencia a la capa posterior. Cuidar el tiempo de manipulación del material

*Terminación:* a) frota la madera, espuma de goma o metálica  
b) y c) frota metálica

*Curado:* a) húmedo por 7 días o dos manos de un adhesivo de base acrílica, aplicadas con una pistola o después del inicio del fraguado con brocha o rodillo. En las primeras 36 horas evitar la radiación solar directamente tapando la superficie  
b) y c) proteger de la irradiación solar directa en las primeras 5 horas

*Cuidados:* b) y c) Trabajar con guantes y espejuelos de protección, en locales ventilados y limpiar el equipo y las herramientas con un solvente antes de la polimerización del sistema epóxico

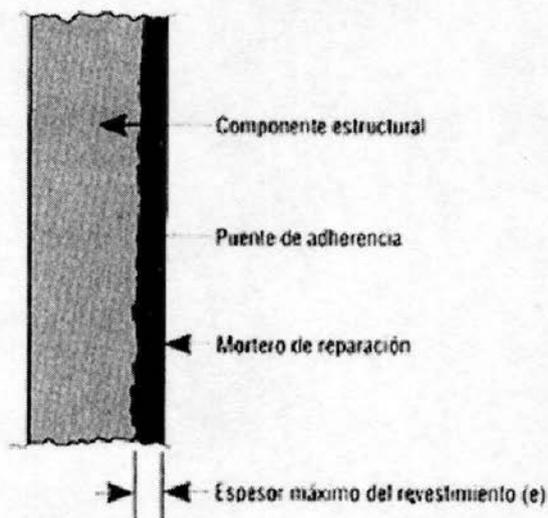


Fig. 4.10.3 Reparaciones superficiales – Grandes áreas a) Mortero polimérico de base cemento y b) Mortero polimérico lanzado de base cemento

*Alcance:* a)  $0.5 \text{ cm} \leq e \leq 2.5 \text{ cm}$

b)  $1.0 \text{ cm} \leq e \leq 10.0 \text{ cm}$  – mortero polimérico de base cemento de contracción compensada

$1.0 \text{ cm} < e > 7.0 \text{ cm}$  – mortero polimérico de base cemento (de baja contracción)

*Sustrato:* saturado y con superficie seca, sin encharcamiento

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente agregado al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos.

*Aplicación:* a) aplicar conector (puente) de adherencia constituido por la pasta de cemento con adhesivo de base acrílica, en relación 3:1:1 (cemento: adhesivo de base acrílica: agua), en volumen. Presionar fuertemente el mortero polimérico de base cemento (de baja contracción) contra el sustrato en capas secuenciales de 1.0 cm hasta alcanzar el máximo espesor deseado ( $\leq 2.5 \text{ cm}$ )

b) proyectar el mortero contra el sustrato (proceso húmedo), de abajo para arriba, en capas secuenciales hasta alcanzar el espesor deseado  $\leq 10.0 \text{ cm}$  para el mortero polimérico de base cemento de contracción compensada de  $\leq 7.0 \text{ cm}$  para el mortero polimérico de base cemento (de baja contracción)

*Terminación:* frota la madera, espuma de goma o metálica

*Curado:* húmedo por 7 días o dos manos de un adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola o después del inicio del fraguado con brocha o rodillo. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

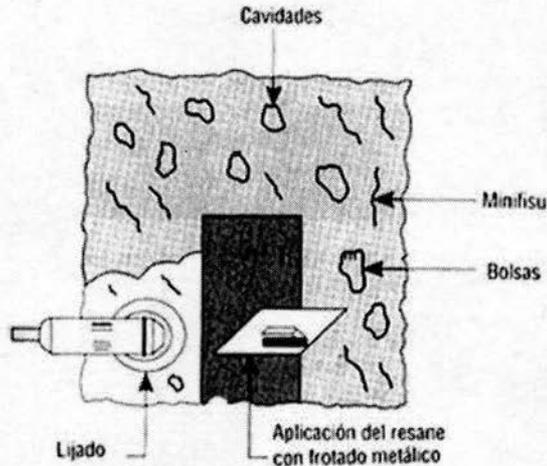


Fig. 4.10.4 Resane de superficie dañada

*Alcance:* resane de la superficie del concreto de cualquier área, con espesor de 0.3 cm

*Sustrato:* lijado con lijadora eléctrica o erosionando con lanzado de arena (*sand blasting*)

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente agregado (polvos) al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos.

*Aplicación:* aplicar el mortero polimérico base cemento de fácil terminación sobre la superficie, con frotado metálico, presionando con fuerza para evitar aire entre el concreto y el mortero, o sea, de modo que el mortero llene completamente todos los huecos, cavidades y minifisuras

*Terminación:* frota de espuma de goma o metálica. Pasadas 36 horas lijar nuevamente, efectuar retoques, lijar y lavar la superficie

*Curado:* húmedo por 3 días

*Observación:* se podrá usar para el resane una pasta preparada con la siguiente proporción: 2 volúmenes de cemento Portland común: 1 volumen de cemento blanco: 1 volumen de polvo de piedra o arena fina (o aún mejor óxido de polvo – alvyarde) con  $T_{max} \leq 0.30$  mm. Mezclar bien y adicionar solución de adhesivo de base acrílica en proporción de 1 de adhesivo de base acrílica y 3 de agua. La proporción entre el cemento blanco y el cemento Portland puede variar un poco en función de la tonalidad del concreto.

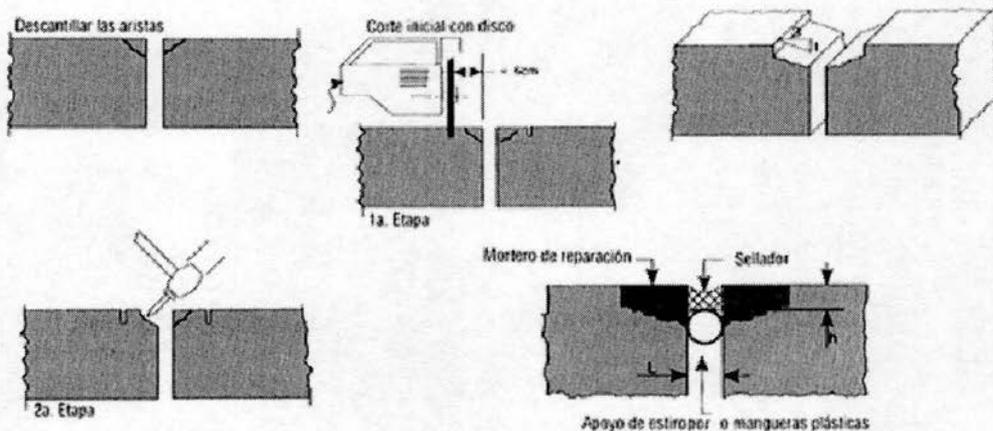


Fig. 4.10.5 Reparaciones – Juntas de expansión a) Mortero polimérico de base cementoy b) Mortero de base epóxica

*Alcance:* a) reparación de los bordes de juntas en superficies de pequeñas solicitaciones  
b) reparación de los bordes de juntas en superficies verticales y horizontales

*Sustrato:* cortar con cortadora de disco a la profundidad de 1 cm (pisos) o 0.5 cm (superficiales verticales). Demoler o escarificar con inclinación de 3 a 1 la arista del elemento estructural.

- Limpiar y mantener saturado y con superficie seca, sin encharcamientos
- Limpiar la superficie con chorro de aire seco comprimido y eventualmente con acetona

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente agregados al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos.

*Aplicación:* aplicar conector (puente) de adherencia

- a) constituido por la pasta de cemento con adhesivo de base acrílica, en relación 3:1:1 (cemento: adhesivo de base acrílica: agua), en volumen. Compactar el mortero polimérico de base cemento (de baja contracción) en los bordes de la junta. Aplicar en capas de espesor 2.5 cm, desfasadas en dos horas, dejando las superficies que recibirán la próxima capa ranuradas.
- b) con adhesivo de base epóxica (de baja viscosidad) sobre la superficie seca y compactar enérgicamente el mortero (tixotrópico) de base epóxica respetando el tiempo de manipulación y secado del adhesivo. Aplicar en capas de espesor  $< 1.5$  cm, desfasadas en dos horas, dejando las superficies que recibirán la próxima capa, ranuradas

*Terminación:* a) frota la madera, espuma de goma o metálica  
b) frota metálica

*Curado:* a) húmedo por 7 días o dos manos de un adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola o después del inicio del fraguado con brocha o rodillo. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie  
b) proteger de la irradiación solar directa durante las primeras 5 horas

*Aplicación del sellador:* después del total endurecimiento de los bordes, para el caso (a) cerca de 7 días y para el caso (b) cerca de 24 días, y con la superficie seca, aplicar el sellador de acuerdo con las recomendaciones de utilización del producto. En la mayoría de los casos es recomendable el empleo de *primer*. Cuidar la profundidad  $h \leq L$  (ancho de la junta). El sellador no se debe adherir al fondo, solamente a las laterales

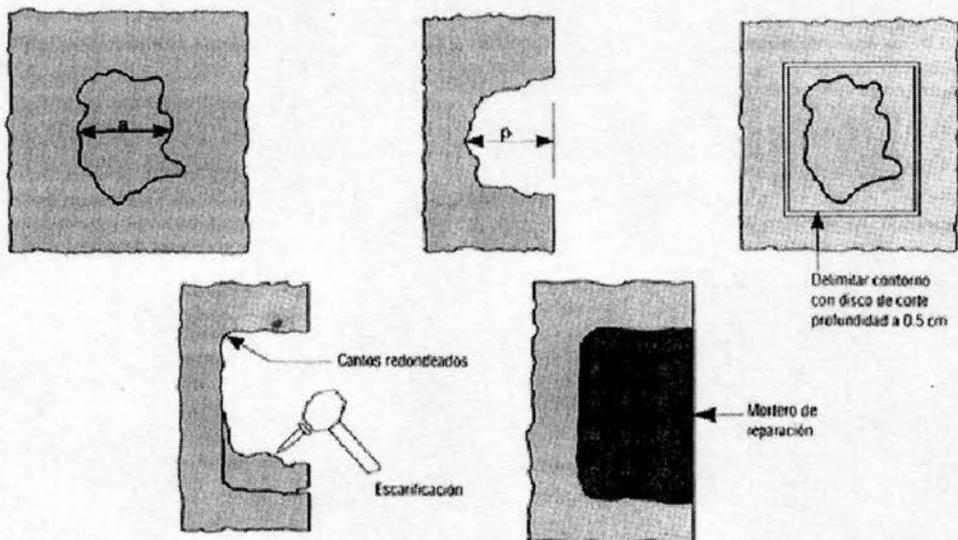


Fig. 4.10.6 Reparaciones profundas con a) Mortero polimérico de cemento y b) Mortero seco de base cemento

*Alcance:* espesores de 1.0 a 5.0 cm

*Sustrato:* a) Saturada y con superficie seca, sin encharcamientos

b) seco con aplicación de conector (puente) de adherencia con adhesivo base epóxica (de baja viscosidad)

*Preparación:* a) en una mezcladora mecánica, adicionar el componente B al componente A, mezclar y homogeneizar por 3 minutos.

b) en una mezcladora mecánica, adicionar agua al polvo en la relación agua/polvo igual a 0.140, mezclar y homogeneizar por 3 minutos.

*Aplicación:* a) aplicar conector (puente) de adherencia con adhesivo de base estireno-butadieno y acrílica, utilizando un pincel de pelo corto. Aplicar el mortero polimérico de base cemento de contracción compensada presionándolo fuertemente a el sustrato con ayuda de una cuchara de albañil o con las manos, protegidas con guantes, en capas secuenciales garantizando la compactación del mortero hasta llegar al espesor deseado ( $\leq 5.0$  cm)

b) aplicar conector (puente) de adherencia con adhesivo de base epóxica (de baja viscosidad) sobre la superficie seca y aplicar el mortero seco de base cemento en capas finas (cerca de 1.0 cm) compactadas enérgicamente con maceta de madera,

respetándose el tiempo de manipulación y secado del adhesivo. Cada dos horas encajar el mayor número posible de piedras trituradas pre-lavadas, colocándolas una a una en el mortero fresco y compactándolas con la maceta de madera. Repetir esta operación cuidadosamente hasta llenar la cavidad

*Terminación:* frota la madera, espuma de goma o metálica

*Curado:* húmedo por 7 días o dos manos de un adhesivo de base acrílica (membrana de curado), aplicadas con pistola o después del inicio del fraguado con brocha o rodillo. En las primeras 36 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie

#### 4.11 Reparación de cuarteaduras

La inyección de resinas o lechadas en las cuarteaduras es un procedimiento adecuado para la restauración de elementos de concreto o mampostería con daños menores y sin aplastamiento del concreto.

La lechada de cemento es una mezcla muy fluida de agua y cemento, que se puede emplear en la inyección de fisuras de elementos de concreto o mampostería y en la preparación de la superficie de contacto entre concreto nuevo y viejo para mejorar la adherencia. En grietas es preferible recurrir al uso de lechadas de morteros de cemento-arena. Para reducir la contracción y aumentar la fluidez de la lechada, es recomendable utilizarla en combinación con aditivos expansores y plastificantes.

Existen en el mercado productos especiales (“grouts”) a base de cemento, aditivos y arenas seleccionadas, que se distribuyen en dosificaciones específicas para lograr lechadas de baja contracción que desarrollan altas resistencias a edad temprana. Estos materiales son muy útiles para el anclaje de concretos metálicos en el concreto.

Con la inyección de fisuras y grietas se puede llegar a recuperar la resistencia original, pero solamente de 70 al 80% de la rigidez. Debido a la imposibilidad de inyectar la totalidad de las mismas.

En fisuras se emplea la inyección de resinas. Para grietas es necesario mezclar las resinas con algún agregado.

Como regla general, durante la inyección son necesarios los siguientes pasos:

a) Perforación de los agujeros de inyección y limpieza por soplado de estos y de la fisura a tratar.



Fig. 4.11.1 Instalación de inyectoros

- b) Instalación de los inyectores.
- c) Taponamiento de la superficie en el área de las fisuras que va a ser inyectada.
- d) Mezcla del material de inyección.
- e) Inyección de la fisura.

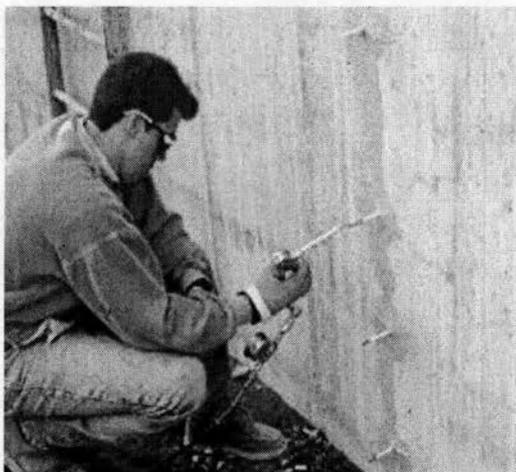


Fig. 4.11.2 Inyección de fisuras

- f) Volver a inyectar y hacer un ensayo.

Para efectuar la inyección de fisuras y grietas se deberá proceder a limpiarlas de polvo con chorro de aire y a sellarlas superficialmente con yeso o cinta adhesiva, dejando ahogadas boquillas metálicas de 1 cm de diámetro espaciadas de 20 a 50 cm.

### *Inyectores*

Los inyectores son medios auxiliares mediante los cuales se introduce el material de inyección en la fisura. Dependiendo del método de instalación, pueden clasificarse como inyectores adhesivos, inyectores de taladro o inyectores pulverizadores.

Los inyectores adhesivos se pegan dentro de la fisura. El tubo para el dispositivo de inyección se conecta a la boquilla del inyector adhesivo. En el caso de inyectores de taladro, los agujeros se taladran en el plano de la fisura o pueden ser inclinados respecto al plano de la fisura. El inyector consiste en un tubo de metal roscado que se encaja en un manguito de goma y está equipado con una tuerca. Después de la inserción en el agujero taladrado, el manguito de goma se comprime al apretar la tuerca. De esta forma, el taladro se sella. Una boquilla, equipada con una válvula de bola a la que se conecta el tubo de inyección, se rosca a la apertura del inyector. La válvula abre por sí misma cuando es sometida a la presión de inyección.

Las resinas se introducen a presión principiando por la boquilla más baja y avanzando hacia arriba. La presión necesaria depende del ancho de la cuarteadura y de la viscosidad del producto. Para grietas se puede intentar la inyección por gravedad.

El equipo de inyección puede ser tan simple como una pistola de calafateo, o tan complejo como un sistema que efectúe la dosificación y la mezcla de los componentes de la resina en forma automática en el momento de la inyección.

### *Taponamiento de fisuras*

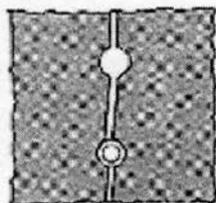
El objetivo del taponamiento es mantener la capa fina de resina inyectada en la fisura hasta que endurezca. Por consiguiente, dicho taponamiento debe ser fácilmente eliminable. El taponamiento se realiza en toda la longitud de la fisura excepto en la zona interior de la fisura que está siendo inyectada. Para taponar fisuras con anchuras variables, por ejemplo en puentes sometidos a cargas de tráfico, se recomiendan los materiales de alta elasticidad, por ejemplo mezcla de resinas epoxi/resinas de poliuretano o resinas acrílicas.

### *Equipos de inyección*

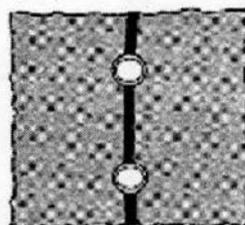
Los equipos de inyección se clasifican como equipos de uno o dos componentes. En el caso de equipos para un componente, se mezcla primero la resina y luego se inyecta en la fisura. Representante típico de los equipos de un componente son una pistola de grasa, una prensa de pedal, un depósito de aire a presión, un depósito de alta presión, y bomba de manguera. Con estos equipos se pueden aplicar presiones relativamente altas. Sin embargo, hay que tener en cuenta la influencia de la presión aplicada en el inyector, el taponamiento y la fisura misma. El tiempo de aplicación del material es un parámetro importante en la utilización de los equipos de un componente. Por consiguiente, la longitud de la fisura que puede ser inyectada depende del volumen de material que está siendo empleado y de su tiempo de utilización.

En el caso de los equipos para dos componentes, la resina y el endurecedor se transportan por separado a la amasadora principal por medio de un equipo de suministro totalmente automático. Por consiguiente, el tiempo de aplicación tiene tan sólo una importancia secundaria. Los errores de la mezcla de resinas de dos componentes pueden tener un efecto significativo en el endurecimiento de la resina. Por lo tanto, se recomienda la utilización de lotes predosificados preparados por fabricantes. Generalmente, en el caso de aparatos dosificadores automáticos de dos componentes, los errores no se descubren a tiempo de aplicar medidas correctoras.

Fijar tubos plásticos o nipples especiales separados de 5 a 30 cm con mortero base epóxico



Limpiar y sellar la fisura con mortero epóxico



Limpiar comprobando comunicación entre los tubos, inyectar el sistema epóxico

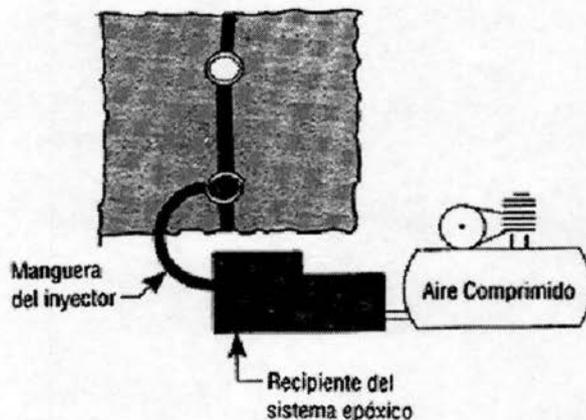


Fig. 4.11.3 Refuerzos – Inyección de fisuras con a) Lechada de base epoxica y b) Lechada de base epóxica

*Alcance:* a) aberturas de 10 a 40 mm con lechada fluida de base epóxica

Aberturas de 35 a 70 mm con lechada fluida de base epóxica para reparaciones profundas

b) aberturas de 0.3 a 9.0 mm

*Sustrato:* cuando fuera necesario, secar y limpiar con chorro de aire comprimido después de lavado

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos. Adicionar los agregados y homogeneizar por otros tres minutos

*Aplicación:* a) verter la lechada fluida de base epóxica o lechada fluida de base epóxica para reparaciones profundas, siempre por el mismo lado para evitar la formación de bolsas de aire, hasta llenar totalmente el vano. Usar en temperatura ambiente de 10° a 30° C

b) a cada 5 cm (abertura  $\leq 1.0$  mm) o a cada 30 cm (aberturas entre 1.0 y 10 mm), fijar tubos plásticos o niples para la inyección con mortero base poliéster. Limpiar la fisura con agua a presión (con o sin detergente) y secarla con chorro de aire comprimido. Sellar la fisura con mortero base poliéster en todo su contorno. Limpiar nuevamente con chorro de aire comprimido comprobando la eficiencia del sellado viendo la comunicación entre las puntas de las mangueras a presión. Inyectar el sistema epóxico, siempre de abajo para arriba o de un lado para el otro. Cuando el material aflora en el tubo adyacente, taponear el tubo por donde se inyecta y continuar la inyección a partir del tubo siguiente, y así sucesivamente

*Terminación:* a) retirar los sobrantes después de dos horas, siempre de abajo para arriba

b) retirar los sobrantes después de 24 horas y dar terminación con mortero polímero de baja contracción base cemento

*Cuidados:* Trabajar con guantes y espejuelos de protección y en locales ventilados y limpiar el equipo y las herramientas con un solvente antes de la polimerización del sistema epóxico

#### **4.12 Refuerzo en estructuras de concreto**

El refuerzo de las estructuras debe de proyectarse y construirse de acuerdo con los reglamentos de construcción apropiados. Si existen reglamentos especiales sobre refuerzos, es obvio que el proyectista y el constructor deber de usarlos.

##### ***Encamisado de concreto reforzado***

El objeto principal del encamisado con concreto reforzado consiste en incrementar la capacidad sísmica de la estructura. Dependiendo del tipo de encamisado, éste incremento puede ser de resistencia, rigidez, ductilidad o de una combinación de éstas.

Este procedimiento consiste en envolver a la sección existente con barras y estribos adicionales o malla electrosoldada y añadir un nuevo recubrimiento de concreto lanzado o colado in-situ. Normalmente el encamisado es aplicable a estructuras a base de marcos, encamisándose, en la mayoría de los casos, tanto las vigas como las columnas de la estructura.

Para el dimensionamiento del encamisado pueden utilizarse los lineamientos que se establecen para los diferentes tipos de elementos en las NTCC (Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Concreto).

##### ***Refuerzo en columnas***

El encamisado de columnas se utiliza para incrementar su capacidad cortante, y en su caso, de flexocompresión. Cuando se desee fomentar un comportamiento más dúctil de la estructura, incrementando la resistencia a carga axial y fuerza cortante de la columna sin aumentar su resistencia a flexión, el acero longitudinal debe cortarse a nivel de los entrepisos. Este acero deberá colocarse solo con el fin de confinar adecuadamente a la columna existente, sirviendo de sostén de los estribos. Una opción aceptable para este fin consiste en el uso de malla electrosoldada.

##### ***Refuerzo en vigas***

De manera similar a lo descrito para columnas, también se pueden reforzar las vigas con un encamisado de concreto teniendo las mismas precauciones.

El momento flector resistente de una viga puede estar limitado por un fallo a compresión en el concreto o por alcanzarse el límite elástico en el acero de refuerzo. En ambos casos la capacidad resistente a flexión puede aumentarse incrementando la sección, es decir, añadiendo concreto a la zona comprimida. Sin embargo, la forma más eficaz de reforzar una viga es añadir acero de tracción, sobre todo si esto también implica un aumento de sección.

Si solamente se requiere aumentar la resistencia a flexión, se puede recurrir al encamisado de la cara inferior. El refuerzo de la camisa debe ser continuo a través de las columnas existentes o anclarse adecuadamente ala nudo de manera que pueda desarrollar su

esfuerzo de fluencia en el paño de la columna, usando conectores soldados para unir el nuevo refuerzo al viejo, así como los estribos adicionales que también serán soldados a los originales o usando un collar de ángulos alrededor del extremo de la columna.

Cuando se requiere reforzar tanto para flexión como para cortante, el encamisado se puede efectuar en 3 caras o todo alrededor de las vigas; en este último caso resulta factible añadir refuerzo por momento negativo. La perforación de la losa es necesaria tanto para pasar los estribos como para facilitar el colado.

### ***Refuerzos en nudos***

Con las mismas recomendaciones establecidas para el encamisado de columnas, se puede usar esta técnica en el refuerzo de las uniones viga-columna.

La unión viga columna o nudo se define como aquella parte de la columna comprendida en el peralte de las vigas que llegan a ella.

El encamisado se puede efectuar localmente en el nudo, o bien en combinación con el encamisado de vigas y columnas.

En la mayoría de los casos debe proveerse suficiente acero transversal que cruce las vigas para resistir las fuerzas internas que produzcan en esta región tan crítica para el buen comportamiento de la estructura. Cuando sea posible, se recomienda que su espaciamiento no sea mayor y su diámetro no sea menor que los usados en el extremo de la columna que llega al nudo. Dada la dificultad para la colocación del acero transversal en el nudo debido a la presencia de las vigas, en ocasiones no es posible proporcionar al nudo un confinamiento y refuerzo adecuado. Poco se ha escrito respecto a este tema y las soluciones que se presentan en la práctica y la literatura no parecen del todo satisfactorias.

### ***Refuerzos en losas***

La capacidad de carga de una losa puede venir limitada por su capacidad a flexión o a cortante. Generalmente la resistencia a flexión es la decisiva. Sin embargo, en losas gruesas muy cargadas apoyadas en columnas o en losas con cargas muy concentradas, la capacidad frente al punzonamiento puede llegar a ser crítica. En el estado límite de servicio, las deformaciones son a menudo decisivas para la carga admisible. La fisuración también puede limitar la capacidad de servicio de la losa.

En las losas se alcanza normalmente el límite elástico, es estos casos, la resistencia a flexión puede aumentarse mediante la incorporación de acero de refuerzo en las zonas traccionadas. En el caso de losas sobreamadas debe aumentarse la sección de la losa.

### ***Refuerzos en muros de concreto***

El aumento en el espesor de un muro de concreto significa un incremento en su resistencia al corte. Si además se requiere reforzar su capacidad para resistir la flexión, se

debe aumentar particularmente la sección de sus extremos, concentrando en ellos buena parte del refuerzo adicional.

Para transmitir las fuerzas cortantes entre los muros y las losas, así como para lograr la continuidad necesaria para el trabajo a flexión, se puede recurrir a perforaciones en las losas que permitan el paso del refuerzo y faciliten el colado.

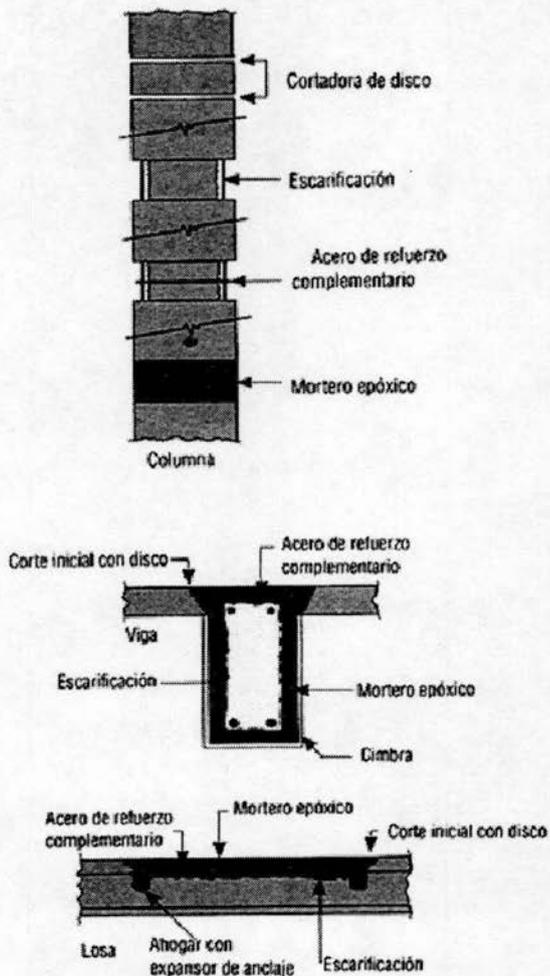


Fig. 4.12.1 Refuerzos – Acero de refuerzo empotrado con mortero de base epóxica

*Alcance:* refuerzos estructurales permanentes que mantienen la estética y la geométrica de la sección original

*Sustrato:* cortar con cortadora de disco a la profundidad  $\leq 0.5$  cm y escarificar cavidad de 3 x 3 cm. Limpiar con chorro de aire comprimido seco y eventualmente con acetona, instantes antes de aplicar el conector (puente) de adherencia, en el concreto, con el sustrato seco, El acero de refuerzo debe ser lijado y limpiado con chorro de aire comprimido seco o acetona, instantes antes de aplicar el adhesivo

*Preparación:* en una mezcladora mecánica, adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos. Juntar poco a poco el componente agregados y homogeneizar por otros tres minutos

*Aplicación:* emplear acero de refuerzo corrugado y tener en cuenta la longitud de traslape para anclaje recto o emplear ganchos rectos en las extremidades fijadas con expansor de anclaje de base poliéster (fluido). Aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) y respetando su tiempo de manipulación y secado\* , llenar la cavidad con mortero (tixotrópico) de base epóxica compactándolo bien

*Terminación:* frota metálica. Poner en carga solamente después de 7 días

*Cuidados:* Trabajar con guantes y espejuelos de protección, en locales ventilados y limpiar el equipo y las herramientas con un solvente antes de la polimerización del sistema epóxico

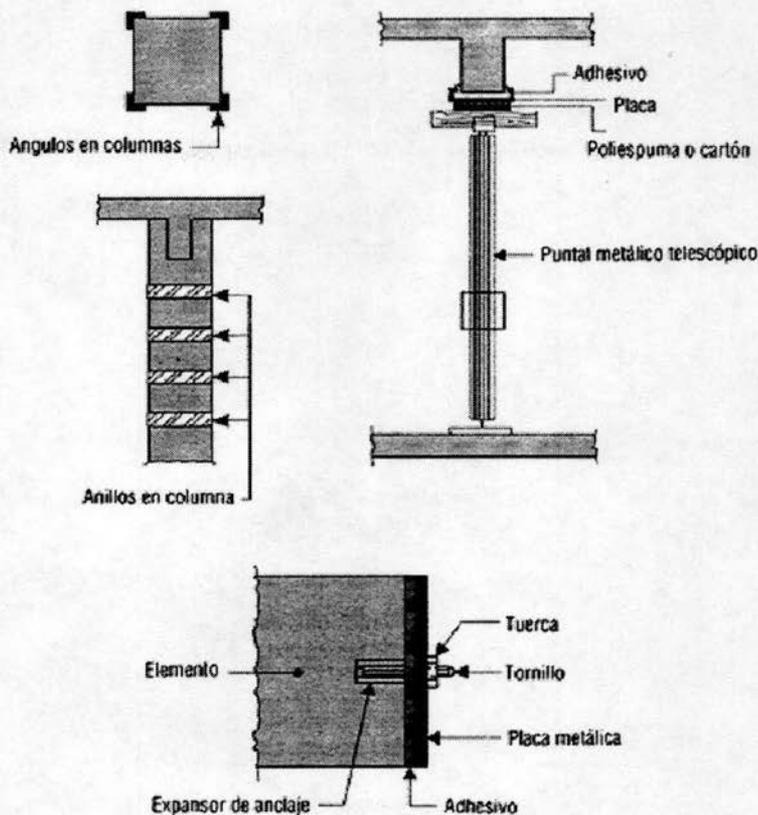


Fig. 4.12.2 Refuerzos – Placas metálicas adheridas al concreto con mortero de base epoxica

*Alcance:* refuerzos estructurales permanentes que mantienen la estética y la geométrica de la sección original. No deben ser usados en situaciones de temperaturas elevadas ( $> 55^{\circ} \text{C}$ )

*Sustrato:* retirar la capa de mortero y pintura, y eliminar por escarificación la capa superficial del concreto. Obtener una superficie plana y rugosa. Si fuera necesario llenar las cavidades y nivelar la superficie con mortero (tixotrópico) de base epóxica, aplicadas sobre el conector (puente) de adherencia formado por adhesivo de base epóxica (de baja viscosidad); limpiar con chorro de aire comprimido seco o eventualmente con acetona. Las placas metálicas deben ser preparadas con chorro de arena o lijamiento eléctrico, como máximo 2 horas antes de colocadas. Instantes antes de la aplicación del adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie de la

acero), limpiar y secar la superficie de la placa metálica con chorro de aire comprimido seco o eventualmente con acetona

*Preparación:* adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Las placas de acero deben tener orificios de 3 mm de diámetro a cada 15 cm para dejar escapar el aire, y deben tener espesor máximo de 4 mm. Se recomienda fijar las placas con el auxilio de tornillos y tuercas. Estos tornillos deben ser previamente embebidos en el elemento estructural con espansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Aplicar el adhesivo de base epóxica (de baja viscosidad) en la superficie del concreto de espesores de 2 a 3 mm. Aplicar el adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero) en la superficie de las placas metálicas a ser colocadas. Presionar fuertemente las placas metálicas contra la superficie del elemento estructural, apretando las tuercas y auxiliándose de los puntales telescópicos, respetando el tiempo de manipulación y secado\* de los adhesivos. Presionar hasta obtener espesor uniforme de adhesivo, inferior a 1.5 mm

*Terminación:* retirar el apuntalamiento después de 48 horas. Eliminar los sobrantes de adhesivo antes del endurecimiento

*Curado:* poner en carga después de 7 días

*Cuidados:* Trabajar con guantes y espejuelos de protección, en locales ventilados y limpiar el equipo y las herramientas con un solvente antes de la polimerización del sistema epóxico

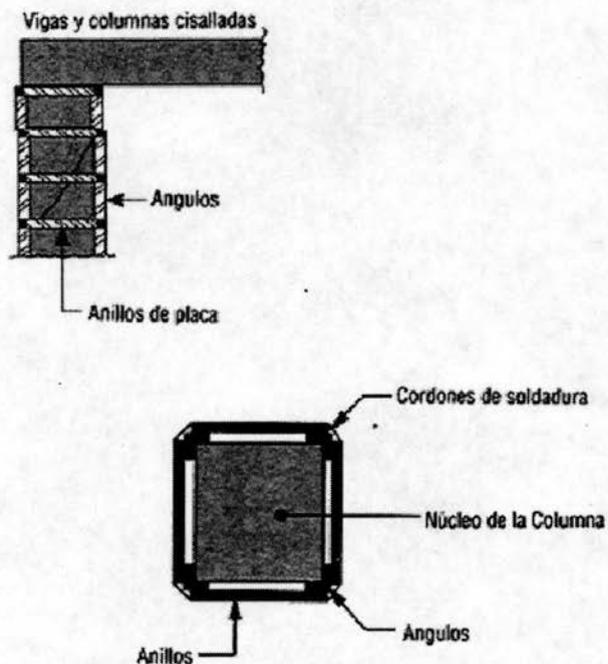


Fig. 4.12.3 Placas metálicas soldadas

*Alcance:* refuerzos de emergencia y provisional en caso de colapso (incendios, sobrecargas)

*Aplicación:* ajustar ángulos metálicos en las aristas. Calentar a cerca de  $100^{\circ}\text{C}$ , placas metálicas que harán la función de estribos y soldarlas a los ángulos. Con el enfriamiento de las placas ocurre una compresión del elemento estructural, lo que garantiza cierta adherencia

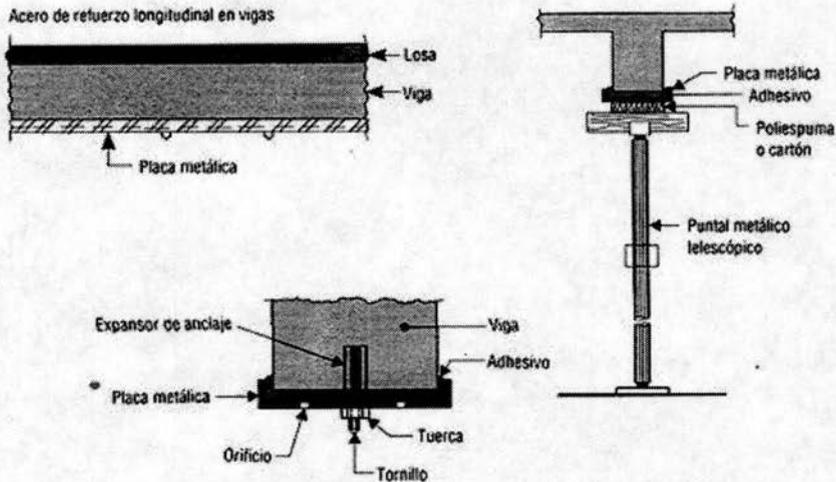


Fig. 4.12.4 Vigas. Refuerzo – Flexión. Placas metálicas adheridas con resina epóxica

**Alcance:** refuerzos permanentes. No deben ser usados en situaciones de temperaturas elevadas ( $> 55^{\circ} \text{C}$ )

**Sustrato:** eliminar los revestimientos de pintura y resane de mortero, lijar la capa superior del concreto (nata del concreto). Formar una superficie plana y rugosa. Si fuera necesario llenar las cavidades y regularizar la superficie con mortero (tixotrópico) de base epóxica, aplicado sobre el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad). Instantes antes de aplicar el conector (puente) de adherencia limpiar la superficie del concreto –que deberá estar seca- con chorro de aire comprimido o eventualmente con acetona. Las placas de acero deben ser preparadas con chorro de arena o lijamiento eléctrico, como máximo 2 horas antes de colocadas. Instantes antes de la aplicación del adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero), limpiar y secar la superficie de la placa metálica con chorro de aire comprimido seco o eventualmente con acetona

**Preparación:** adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos

**Aplicación:** debe estar conforme al diseño. Las placas de acero deben tener orificios de 3 mm de diámetro a cada 15 cm para dejar escapar el aire, y deben tener espesor máximo de 4 mm. Se recomienda fijar las placas con el auxilio de tornillos y tuercas. Estos tornillos deben ser previamente embebidos en

el elemento estructural con espansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) en la superficie del concreto de espesores de 2 a 3 mm. Aplicar el adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero) en la superficie de las placas metálicas a ser colocadas. Presionar fuertemente las placas metálicas contra la superficie del elemento estructural, apretando las tuercas y con auxilio de los puntales telescópicos, respetando el tiempo de manipulación y secado\* de los adhesivos. Presionar hasta obtener espesor uniforme de adhesivo, inferior a 1.5 mm

**Terminación:** retirar el apuntalamiento después de 48 horas. Eliminar los sobrantes de adhesivo antes del endurecimiento

**Curado:** poner en carga después de 7 días

**Cuidados:** trabajar con guantes y espejuelos de protección, en locales ventilados y limpiar equipo y herramientas con un solvente antes de la polimerización del sistema epóxico

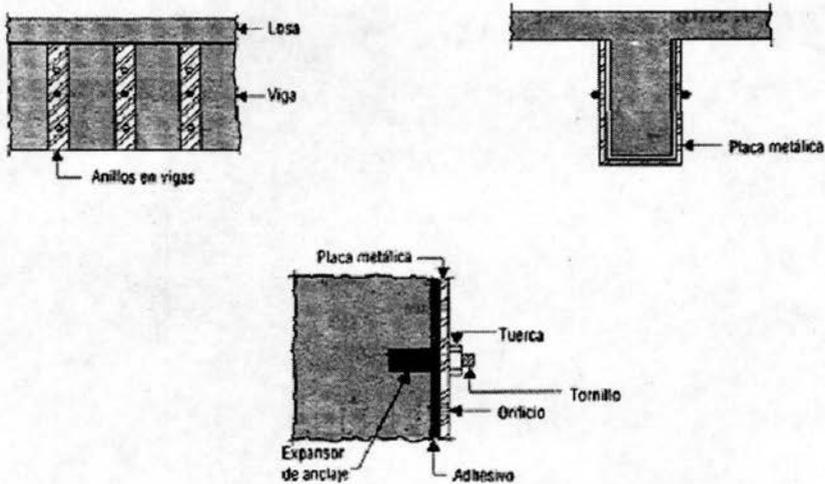


Fig. 4.12.5 Refuerzos - Cortante. Placas metálicas adheridas con resina epóxica

**Alcance:** refuerzos estructurales permanentes que mantienen la estética y la geometría original. No deben ser usados en situaciones de temperaturas elevadas ( $> 55^{\circ} \text{C}$ )

**Sustrato:** eliminar los revestimientos de pintura y capas de mortero, escarificar la capa superior del concreto (nata del concreto). Formar una superficie plana y rugosa. Si fuera necesario llenar las

cavidades y regularizar la superficie con mortero (tixotrópico) de base epóxica, aplicado sobre el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad). Instantes antes de aplicar el conector (puente) de adherencia limpiar la superficie del concreto –que deberá estar seca- con chorro de aire comprimido o eventualmente con acetona. Las placas de acero deben ser preparadas con chorro de arena o lijamiento eléctrico, como máximo 2 horas antes de colocadas. Instantes antes de la aplicación del adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero), limpiar y secar la superficie de la placa metálica con chorro de aire comprimido seco o eventualmente con acetona

*Preparación:* adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Las placas de acero deben tener orificios de 3 mm de diámetro a cada 15 cm para dejar escapar el aire, y deben tener espesor máximo de 4 mm. Se recomienda fijar las placas con el auxilio de tornillos y tuercas. Estos tornillos deben ser previamente embebidos en el elemento estructural con espansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) en la superficie del concreto de espesores de 2 a 3 mm. Aplicar el adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero) en la superficie de las placas metálicas a ser colocadas. Presionar fuertemente las placas metálicas contra la superficie del elemento estructural, apretando las tuercas y con auxilio de los puntales telescópicos, respetando el tiempo de manipulación y secado\* de los adhesivos. Presionar hasta obtener espesor uniforme de adhesivo, inferior a 1.5 mm

*Terminación:* retirar el apuntalamiento después de 48 horas. Eliminar los sobrantes de adhesivo antes del endurecimiento

*Curado:* poner en carga después de 7 días

*Cuidados:* trabajar con guantes y espejuelos de protección, en locales ventilados y limpiar equipo y herramientas con un solvente antes de la polimerización del sistema epóxico

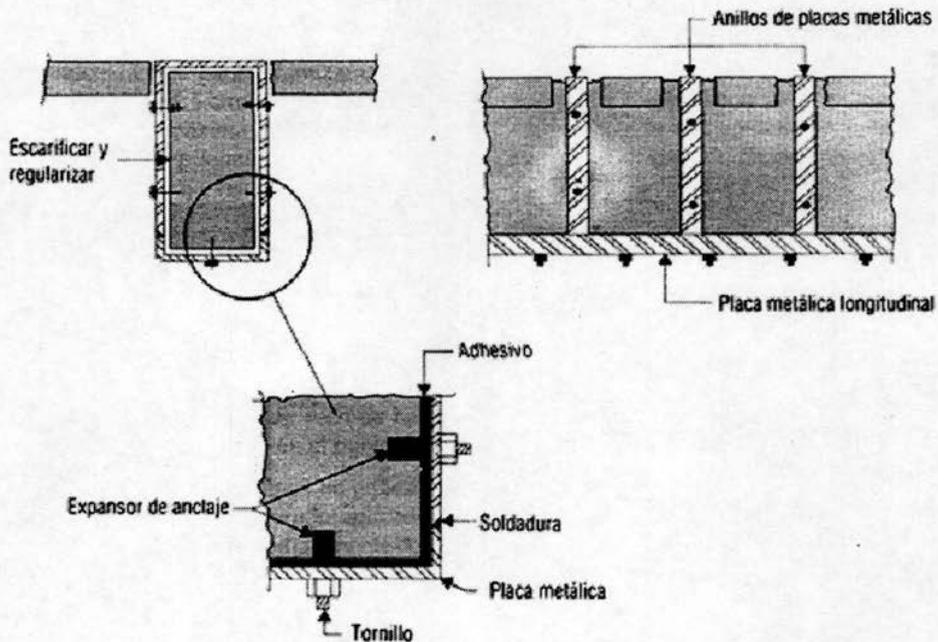


Fig. 4.12.6 Refuerzos – torsión. Placas metálicas adheridas con resina epóxica

*Alcance:* refuerzos permanentes. No deben ser usados en situaciones de temperaturas elevadas ( $> 55^{\circ}\text{C}$ )

*Sustrato:* eliminar los revestimientos de pintura y resane de mortero, escarificar la capa superior del concreto (nata del concreto). Formar una superficie plana y rugosa. Si fuera necesario llenar las cavidades y regularizar la superficie con mortero (tixotrópico) de base epóxica, aplicado sobre el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad). Instantes antes de aplicar el conector (puente) de adherencia limpiar la superficie del concreto –que deberá estar seca- con chorro de aire comprimido o eventualmente con acetona. Las placas de acero deben ser preparadas con chorro de arena o lijamiento eléctrico, como máximo 2 horas antes de colocadas. Instantes antes de la aplicación del adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero), limpiar y secar la superficie de las placas metálicas con chorro de aire comprimido seco, o eventualmente, con acetona

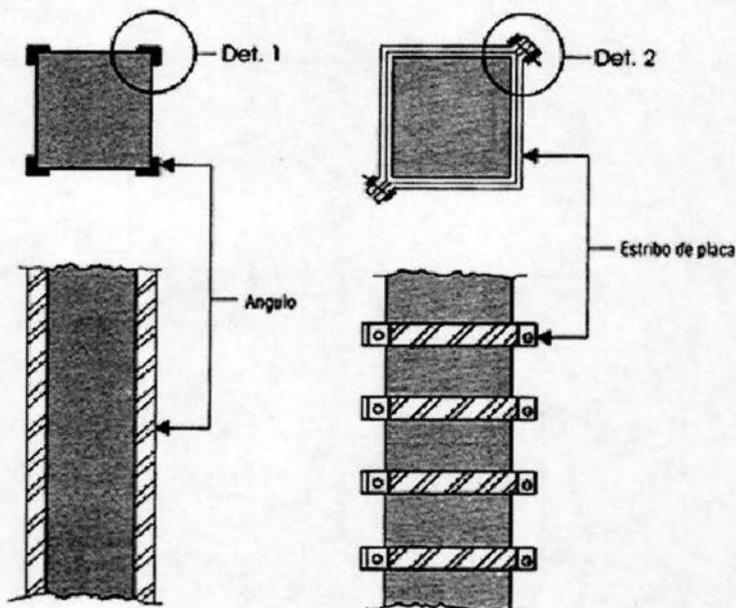
*Preparación:* adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos

**Aplicación:** debe estar conforme al diseño. Las placas de acero deben tener orificios de 3 mm de diámetro a cada 15 cm para dejar escapar el aire, y deben tener espesor máximo de 4 mm. Se recomienda fijar las placas con el auxilio de tornillos y tuercas. Estos tornillos deben ser previamente embebidos en el elemento estructural con espansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) en la superficie del concreto de espesores de 2 a 3 mm. Aplicar el adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero) en la superficie de las placas metálicas a ser colocadas. Presionar fuertemente las placas metálicas contra la superficie del elemento estructural, apretando las tuercas y con auxilio de los puntales telescópicos, respetando el tiempo de manipulación y secado\* de los adhesivos. Presionar hasta obtener espesor uniforme de adhesivo, inferior a 1.5 mm

**Terminación:** retirar el apuntalamiento después de 48 horas. Eliminar los sobrantes de adhesivo antes del endurecimiento

**Curado:** poner en carga después de 7 días

**Cuidados:** trabajar con guantes y espejuelos de protección, en locales ventilados y limpiar equipo y herramientas con un solvente antes de la polimerización del sistema epóxico



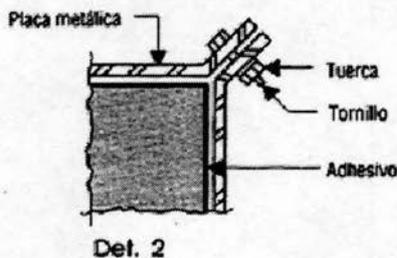
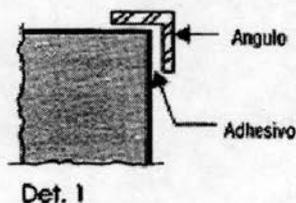


Fig. 4.12.7 Columnas. Placas metálicas adheridas con resina epóxica

*Alcance:* refuerzos permanentes. No deben ser usados en situaciones de temperaturas elevadas ( $> 55^{\circ} \text{C}$ )

*Sustrato:* eliminar los revestimientos de pintura y resane de mortero, escarificar la capa superior del concreto (nata del concreto). Formar una superficie plana y rugosa. Si fuera necesario llenar las cavidades y regularizar la superficie con mortero (tixotrópico) de base epóxica, aplicado sobre el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad). Instantes antes de aplicar el conector (puente) de adherencia limpiar la superficie del concreto –que deberá estar seca- con chorro de aire comprimido o eventualmente con acetona. Las placas de acero deben ser preparadas con chorro de arena o lijamiento eléctrico, como máximo 2 horas antes de colocadas. Instantes antes de la aplicación del adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero), limpiar y secar la superficie de la placa metálica con chorro de aire comprimido seco o eventualmente con acetona

*Preparación:* adicionar el componente endurecedor al componente resina, mezclar y homogeneizar por 3 minutos

*Aplicación:* debe estar conforme al diseño. Las placas de acero deben tener orificios de 3 mm de diámetro a cada 15 cm para dejar escapar el aire, y deben tener espesor máximo de 4 mm. Se recomienda fijar las placas con el auxilio de tornillos y

tuercas. Estos tornillos deben ser previamente embebidos en el elemento estructural con espansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Aplicar el conector (puente) de adherencia, adhesivo base epóxica (de baja viscosidad) en la superficie del concreto de espesores de 2 a 3 mm. Aplicar el adhesivo de base epóxica (de tratamiento de la superficie del acero) en la superficie de las placas metálicas a ser colocadas. Presionar fuertemente las placas metálicas contra la superficie del elemento estructural, apretando las tuercas y con auxilio de los puntales telescópicos, respetando el tiempo de manipulación y secado\* de los adhesivos. Presionar hasta obtener espesor uniforme de adhesivo, inferior a 1.5 mm

*Terminación:* retirar el apuntalamiento después de 48 horas. Eliminar los sobrantes de adhesivo antes del endurecimiento

*Curado:* poner en carga después de 7 días

*Cuidados:* trabajar con guantes y espejuelos de protección, en locales ventilados y limpiar equipo y herramientas con un solvente antes de la polimerización del sistema epóxico

*\* tiempo de manipulación, es el plazo disponible para aplicar el producto*

*\* tiempo de secado, es el plazo total, después de mezclar los componentes del primer adhesivo, durante el cual el material es aún adherente. También conocido como tiempo para aplicar el resane*

#### 4.13 Reparación y protección contra la carbonatación

La investigación de la condición debe siempre constituir la base para un enfoque de reparación y protección. Antes de que pueda prescribirse un remedio apropiado, debe completarse un diagnóstico minucioso. Para estructuras a las que se ha diagnosticado corrosión, agrietamiento y astillamiento inducidos por la carbonatación, existen pocas opciones de reparación.

Con frecuencia, la opción más factible es reparar y proteger el concreto. Esta es una técnica de reparación directa que atiende claramente la necesidad inmediata del propietario. Sin embargo, la reparación del daño visible es sólo el primer paso para una reparación duradera del concreto dañado por la corrosión. Las áreas resanadas cubren usualmente sólo alrededor de 15 por ciento de toda el área de la superficie, pero el área total de ésta ha sido carbonatada. Si sólo se resana el daño visible, sin preocuparse por las causas subyacentes, no pasará mucho tiempo antes de que ocurra mayor astillamiento.

Cuando la carbonatación ha alcanzado ya la profundidad del refuerzo de acero. En situaciones como ésta, el recubrimiento anticarbonatación, aunque detiene el progreso interior de la carbonatación, no podrá detener la corrosión existente que ya está teniendo lugar. La investigación ha demostrado que existe todavía suficiente humedad en el concreto para continuar corroyendo la varilla de refuerzo.

La tecnología actualmente en desarrollo de los inhibidores de corrosión puede ayudar a resolver la corrosión existente. En estas situaciones, los inhibidores de corrosión aplicados a la superficie, y que se pueden difundir a través del concreto que sirve de recubrimiento, pueden aplicarse en spray o con rodillos en la superficie de concreto antes de aplicar un recubrimiento anticarbonatación.

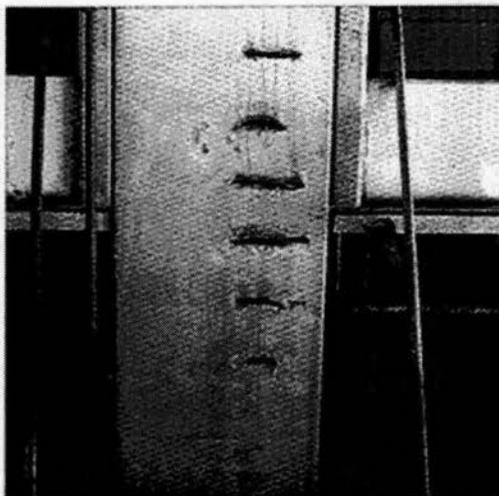


Fig. 4.13.1 Corrosión electroquímica generalizada del acero de refuerzo debido a la reducción de la alcalinidad del concreto por carbonatación.

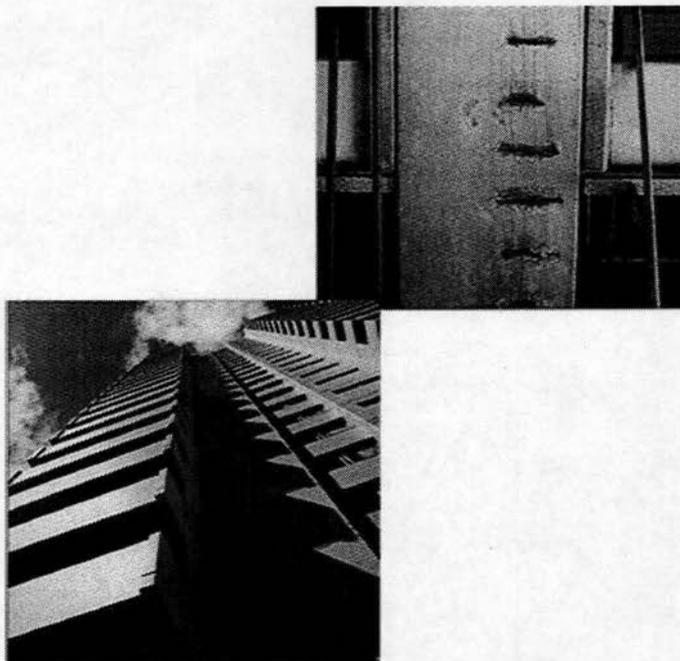


Fig. 4.13.2 Edificio de apartamentos en estructura de concreto y paneles prefabricados en fachada.

Problema: Inadecuado recubrimiento de concreto sobre el acero de refuerzo. Fisuras y descascamiento debidos a que el frente de carbonatación ha alcanzado el acero de refuerzo.

Soluciones:

- Preparación de la superficie de concreto con chorro de agua a alta presión.
- Preparación del acero de refuerzo expuesto con limpieza abrasiva.
- Protección del acero de refuerzo y puente de adherencia con productos base cemento e inhibidores de corrosión, resinas epoxi modificadas..
- Reparación y reperfilación con morteros de base acrílica.
- Puenteo de fisuras y protección contra la carbonatación sobre la superficie del concreto con el recubrimiento primer.
- Sello de juntas con un sellador elástico para juntas con base de poliuretano.
- Protección de barandas de acero galvanizado.

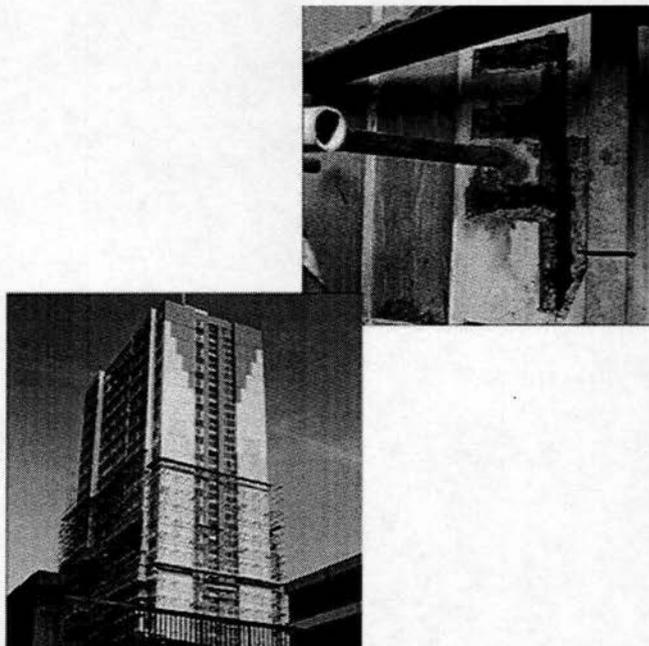


Fig. 4.13.3 Edificio residencial de 26 pisos de altura con estructura en concreto aligerado.

Problema: Inadecuado recubrimiento de concreto sobre el acero con el consecuente agrietamiento, aparición de manchas y descascaramiento.

Soluciones:

- Preparación mediante limpieza con chorro abrasivo.
- Protección del acero de refuerzo con productos base cemento e inhibidores de corrosión, resinas epoxi modificadas
- Reparación, nivelación y relleno de poros con morteros base acrílica.
- Punteo de fisuras y protección contra la carbonatación con acabado decorativo con primer.
- Sello de juntas con masillas un sellador elástico para juntas con base de poliuretano.



Fig. 4.13.4 Corrosión del acero de refuerzo evidenciada en manchas de óxido en fisuras. Parapeto de concreto en la estructura del parqueadero de un aeropuerto.

Problema: Baranda de acero galvanizado anclada en una viga de borde en concreto reforzado, con contacto directo entre el acero galvanizado y el de refuerzo, produciéndose corrosión.

Soluciones:

- Retiro y recubrimiento de la baranda con primer.
- Reanclaje con grout epóxico.
- Parcheo y nivelación del concreto deteriorado con morteros base cemento e inhibidores de la corrosión con resinas epoxi modificadas.
- Protección contra el ingreso futuro de agua con primer.

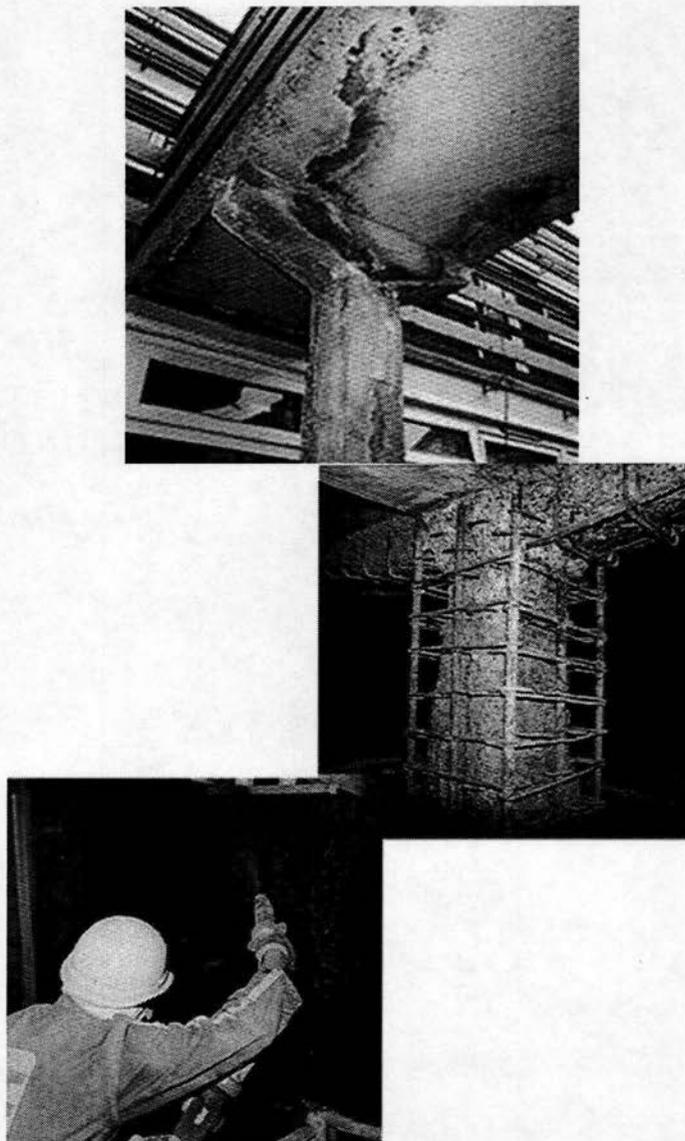


Fig. 4.13.5 Corrosión de acero de refuerzo acelerada por el ingreso de cloruros. Viaducto de 1200 m compuesto por diez puentes sobre vías vehiculares y férreas.

Soluciones:

- Remoción del concreto deteriorado.
- Lavado con agua a alta presión (también para reducir niveles de cloruros).
- Limpieza abrasiva para preparar el acero de refuerzo expuesto.

- Protección del acero de refuerzo y puente de adherencia con productos base cemento e inhibidores de la corrosión y resinas epoxi modificadas.
- Reparación y perfilación con morteros modificados proyectado por vía seca.

Estructura:

- Puente peatonal de un hospital.

Problema:

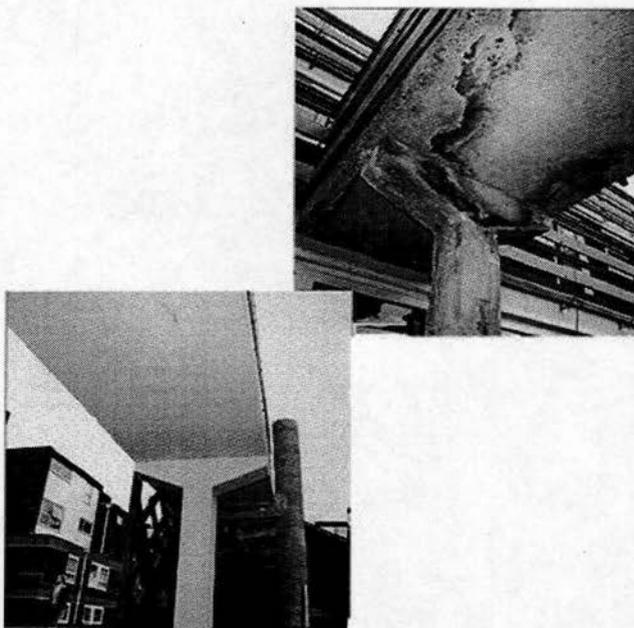


Fig. 4.13.6 Concreto deteriorado por la acción de congelamiento/ descongelamiento y corrosión del acero de refuerzo acelerada por cloruros provenientes de sales de deshielo.

Soluciones:

- Preparación de la superficie con chorro de agua a alta presión y preparación del acero de refuerzo con limpieza abrasiva.
- Protección del acero de refuerzo con productos de base cemento e inhibidores de la corrosión.
- Reparación con morteros de base acrílica.
- Protección contra daños latentes mediante impregnación con el inhibidor de corrosión..
- Protección de la superficie y puenteo de fisuras con primer.

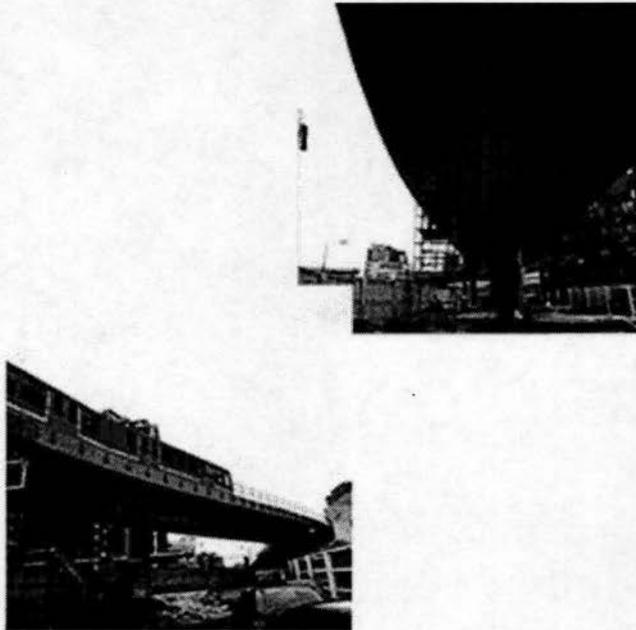


Fig. 4.13.7 Estructura de un transporte férreo elevado

**Problema:**

- Inadecuado recubrimiento de concreto con riesgo de exposición a sales de deshielo.
- Daños físicos producidos por la explosión de una bomba.

**Soluciones:**

**Cara superior e inferior de la losa**

- Impregnación con algún inhibidor de corrosión.
- Recubrimiento para prevenir futuro ingreso de agua y cloruros, con primer.

**Páneles prefabricados del parapeto.**

- Reemplazo con paneles de bajo espesor utilizando superplastificantes y el aditivo inhibidor de corrosión.

#### 4.14 Reparaciones en estructuras contenedoras de agua

Los defectos observados en la práctica que ocasionan fugas pueden clasificarse como sigue:

- a) Zonas porosas por mala compactación
- b) Zonas porosas por fugas en los encofrados
- c) Juntas
- d) Fisuras

##### *Concreto poroso y con coqueas*

Hay dos métodos de sellado: sustitución del concreto poroso por concreto adecuadamente compactado, o inyección de las zonas porosas con material sellante. En el primer caso, todas las zonas porosas con un sellador. En el primer caso, todas las zonas porosas de la estructura deben eliminarse cuidadosamente. Las zonas saneadas se sustituyen con concreto perfectamente compactado o mortero, con una relación agua-cemento que no exceda de 0.4. Este procedimiento no puede usarse donde haya flujo continuo de agua.

##### *Reparación de juntas*

De la misma manera se pueden reparar, mediante sustitución o inyección, los sistemas de estanquidad de juntas que hayan sido mal coladas.

##### *Reparación de fisuras*

Ver tratamiento de fisuras (cap. 4.11).

##### *Sellado parcial de fisuras en zonas con agua a presión*

Si durante el periodo de construcción se descubren fisuras en las paredes de estructuras que quedarán ubicadas después bajo el nivel freático (depósitos de concreto, túneles, cimentación de muros, etc.) las fisuras pueden sellarse mediante adhesivos del lado del agua. Cuando el disolvente se ha evaporado por completo, se encolan sobre la fisura dos hojas de látex bituminoso de aproximadamente 400 mm de ancho. Para proteger la reparación de posibles daños se cubre el conjunto con hojas de metal o plástico fijadas al concreto.

En algunos casos, particularmente en torres de agua, se requiere un forrado completo de la estructura para asegurar su estanquidad.

Problema:

- El frente de carbonatación ha alcanzado al acero de refuerzo principal externo permitiendo la expansión del óxido con el consecuente fisuramiento y descascaramiento del concreto.

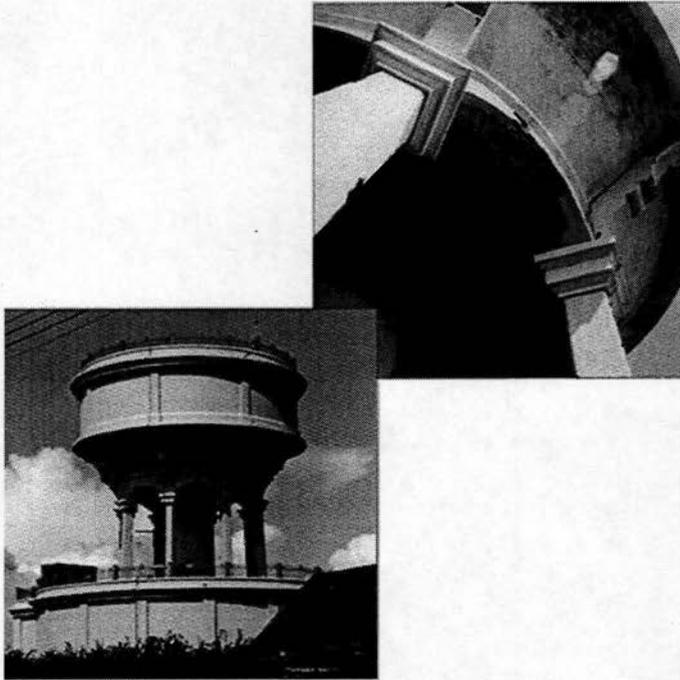


Fig 4.14.1 Torre de almacenamiento de agua potable, de importancia histórica construida en concreto reforzado.

Soluciones:

- Preparación de la superficie mediante limpieza abrasiva.
- Protección del acero de refuerzo y puente de adherencia con productos base cemento e inhibidores de corrosión, y resinas epoxi modificadas
- Reparación y nivelación con morteros base acrílica.
- Protección anticarbonatación y mejoramiento de apariencia.

## 4.15 Otros

### 4.15.1 Reparación de muros que presentan eflorescencia

Se puede remover la mayor parte de la eflorescencia cepillando en seco y luego limpiando a chorros con agua limpia. Las acumulaciones fuertes y los depósitos obstinados de eflorescencia blanca pueden ser quitados con una solución de una parte de ácido muriático con doce partes de agua. Asegurándose de diluir la solución de ácido muriático que se compra. Las soluciones fuertes de ácido pueden blanquear y desintegrar el concreto coloreado o los bloques de concreto a color. Para mampostería de concreto integralmente coloreada, quizá se tenga que utilizar una solución más diluida de ácido, quizá solo 2% de ácido.

Con frecuencia se recomiendan, capas claras repelentes al agua como una solución a los problemas de eflorescencia. Sin embargo; si se aplica un repelente al agua de color claro a un muro que aún contiene humedad y sales, pueden resultar problemas aún más dañinos que la eflorescencia. En vez de emigrar hacia la superficie exterior, la mayor parte de las soluciones salinas se detienen en la parte profunda interior del repelente de agua. Entonces el agua se evapora a través de la barrera como vapor y deposita sales dentro de la unidad de mampostería. Eventualmente, esta acumulación de sal puede ejercer una presión tremenda capaz de fisurar la cara de la unidad. En general, no se debe de usar repelentes al agua de color claro como medida preventiva contra la eflorescencia.

Toda mampostería de arcilla, concreto y piedra sufren eflorescencia, pero es más notable en ladrillos y piedras de colores oscuros. La eflorescencia puede ocurrir en cualquier momento del año, pero es más común a finales de otoño, en invierno y a principios de primavera, cuando las temperaturas son frías y la evaporación es lenta. Debido a que los muros de mampostería secan rápidamente en los meses calurosos de verano, generalmente no ocurre eflorescencia en verano.



Fig. 4.15.1 Efecto de la acción de congelamiento y descongelamiento en la estructura de un estacionamiento.

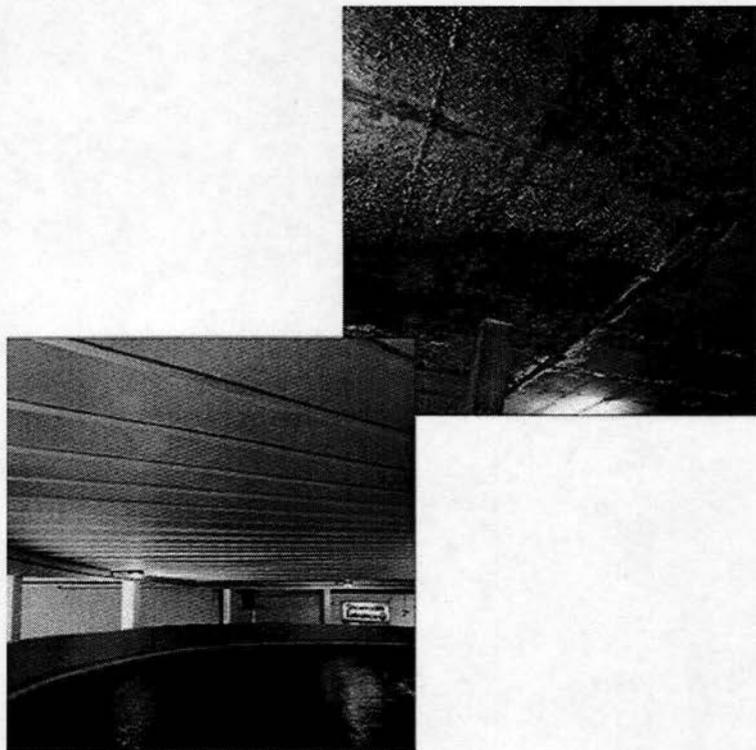


Fig. 4.15.2 Daño en columnas y losas de concreto (por condensación y exposición a sales de deshielo).

Soluciones:

- Lavado con chorro de agua a alta presión seguido de limpieza abrasiva.
- Reparación y reperfilado con: morteros base acrílica
- Protección contra el ingreso futuro de agua y sales de deshielo con productos anticarboantación (columnas y losas) y áreas sujetas a fisuración, parapetos y fachadas.
- Sello de juntas con un sellador elástico para juntas con base de poliuretano.
- Protección con recubrimientos contra la corrosión, sobre estructuras metálicas.

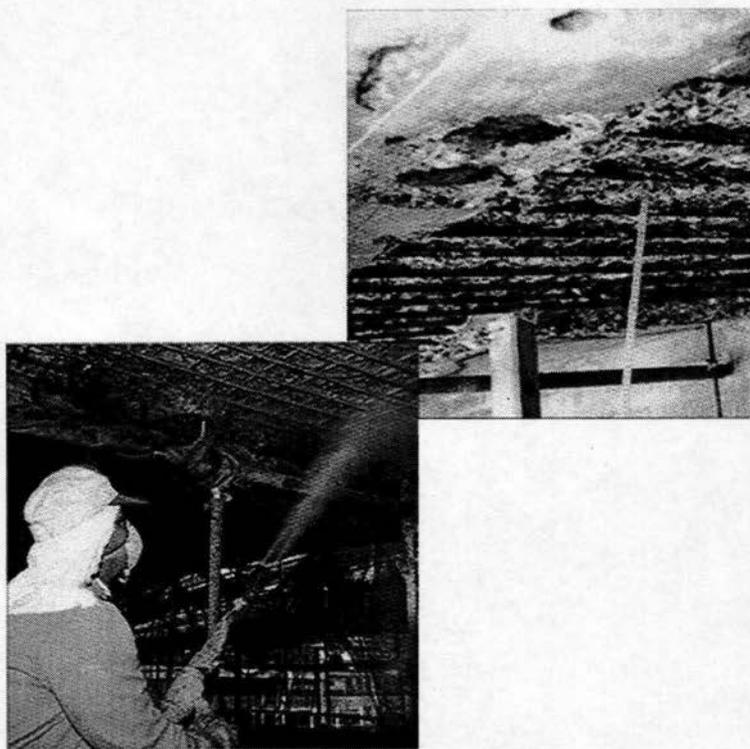


Fig. 4.15.3 Concreto deteriorado en las barandas y en la cara inferior de la losa del puente debido a la acción de congelamiento/ descongelamiento acelerada por las sales de deshielo.

Soluciones:

- Saneado con preparación de la superficie y remoción del concreto defectuoso mediante chorro de agua a alta presión y picado mecánico.
- Barandas: productos base cemento e inhibidores de la corrosión, resinas epoxi modificadas más como protección contra la corrosión del acero de refuerzo. Una vez curado aplicar mortero de reparación proyectado.

#### 4.15.2 Reparación de daños por incendio en las estructuras

A continuación se presentan en forma resumida una serie de procedimientos constructivos usados generalmente en la reparación de estructuras dañadas por el fuego.

- a) En primer lugar se deben apuntalar convenientemente la estructura de forma tal de descargar, al menos parcialmente, a los elementos que se tengan que intervenir. Las áreas más dañadas donde los elementos estén propensos al colapso o derrumbe, también deben de apuntalarse y contraventarse adecuadamente.

Es importante destacar que la reparación o refuerzo que se ejecute sobre un elemento cargado, no funcionará satisfactoriamente, pues esta estará en

condición pasiva. Al realizar la intervención con la estructura descargada, la parte añadida podrá trabajar en conjunto con la parte original una vez que se ponga en servicio el elemento estructural.

- b) Todo el concreto deteriorado debe de ser eliminado, utilizando martillos demolidores manuales livianos.
- c) Actividad de vital importancia para lograr el éxito de la reparación es la limpieza y el acondicionamiento de las superficies en tratamiento. Luego de eliminado todo el material deteriorado se debe de aplicar a la superficie escarificada un tratamiento con Chorro de Arena para eliminar todo vestigio de material suelto o débil y además lograr una superficie firme y rugosa. . Posteriormente hay que proceder a lavar la superficie con chorro de agua a presión para limpiar el polvo e hidratarla. Hay equipos como los hidroarenadores, que tienen la ventaja de realizar las funciones de limpieza e hidratación conjuntamente y además la formación de nubes de polvo y arena en el ambiente es muy reducida.
- d) La reposición del concreto se puede realizar por distintos métodos, siendo los más eficaces el sistema de mortero lanzado, el sistema de mortero fluido vaciado en la cimbra y los morteros comerciales premezclados.

El mortero lanzado constituye la solución más adecuada para la reparación de losas y vigas. La ventaja de éste método se basa en que permite la colocación del mortero en vertical y sobre cabeza sin desplazarse o desprenderse. Tiene un rendimiento aceptable por lo que puede ser usado en áreas grandes.

Los morteros fluidos vaciados en la cimbra son muy aplicables en la reparación de columnas. Regularmente se esfuerzan con fibras bien de acero o polipropileno, para controlar la contracción y mejorar sus propiedades mecánicas, debido a que en la mayoría de los casos éstos se vacían en espesores pequeños.

Los morteros premezclados para reparación que se ofrecen comercialmente, constituyen una muy buena solución para el caso de tratamientos de áreas reducidas o cuando son volúmenes pequeños. Presentan excelentes propiedades de aplicación y de resistencia pero tienen el inconveniente de su elevado costo.

- e) La unión entre el concreto viejo y nuevo es recomendable realizarla mediante la adecuada preparación de la superficie y el auxilio de vínculos mecánicos como anclajes, conectores, mallas electrosoldadas vinculadas al acero existente. El empleo de resinas epóxicas como puente de adherencia debe de ser realizado con prudencia, sobre todo en áreas grandes y donde se use como único sistema de unión. La razón se debe a que estos productos no resisten temperaturas altas (comienzan a degradarse alrededor de los 100 °C), por lo que ante la eventual ocurrencia de otro incendio, se corre el riesgo de perder la reparación o refuerzo estructural ejecutado y dejar a la estructura debilitada para soportar un nuevo incendio.

### 4.15.3 Solución a problemas frecuentes

#### *a) Concreto resbaloso*

Muchos pisos de concreto que no presentan serios defectos se vuelven resbalosos por el continuo tránsito y no requieren más que una capa de pintura antiderrapante. Una pintura antiderrapante confiable es relativamente barata y se mantiene bien. Si la superficie que se va a tratar va a estar expuesta al tipo de desgaste ocasionado por los montacargas, en rampas para automóviles o en pisos de plantas fabricantes de productos químicos, se puede considerar el uso de recubrimientos epóxicos. Estos son muy durables, resisten el desgaste ocasionado por el tráfico pesado y están disponibles en fórmulas para pisos lisos o antiderrapantes. En cualquier caso, independientemente del producto de reparación seleccionado, la superficie vieja se debe limpiar perfectamente antes de la aplicación.

El problema de un piso resbaloso es obvio, al igual que su causa. En muchos casos, se detecta el problema pero se ignora la causa. Antes de tomar una decisión respecto a la reparación, se deben determinar la causa del problema y los productos que se pueden emplear para solucionarlo.

#### *b) Deterioro por expansión de los álcalis*

Algunos problemas de deterioro del concreto, como la expansión de los álcalis, pueden pasar desapercibidos durante años. Es posible que el concreto así deteriorado tenga que ser sustituido, dependiendo de la profundidad de la erosión. La expansión de los álcalis es activada por la presencia de humedad y, cuando la erosión dentro del concreto no es muy severa, la aplicación de material impermeabilizante puede detener su avance. Esto puede eliminar el problema o, por lo menos, demorar un deterioro mayor. Con frecuencia vale la pena correr el riesgo con esta dudosa solución, ya que resulta relativamente económica.

#### *c) Calavereo*

El calavereo es causado por partículas inestables del agregado grueso, próximas a la superficie del concreto. Estas partículas absorben agua fácilmente y, bajo condiciones de congelación, se expanden y destruyen, reventando la delgada capa superficial del mortero que se encuentra encima. La cavidad resultante es un lugar perfecto para retener agua, la cual, en clima frío, se puede congelar y causar con ello mayor destrucción.

La mejor forma de evitar problemas más serios de calavereo es tratar el área de la superficie con un sellador líquido repelente al agua, para prevenir la absorción adicional de agua. Los agujeros se pueden rellenar con compuestos acrílicos o morteros modificados con látex, que son auto adheribles.

#### *d) Empolvamiento*

La presencia de polvo fino y blancuzco sobre la superficie de los pisos indica empolvamiento. Este generalmente aparece debido a que la superficie del concreto fue

afinada con llana, cuando todavía tenía agua de sangrado. Una o dos aplicaciones de solución de fluosilicato de magnesio y fluosilicato de zinc generalmente solucionan el problema.

#### *e) Alveolado*

Un alveolado puede ser causado por el empleo de una mezcla de concreto con exceso de agregado grueso; por fuga de mortero a través de las cimbras; por un concreto de revenimiento muy bajo; o por un vibrado inapropiado o insuficiente. Además de dar un aspecto desagradable, el área alveolada puede constituir un punto débil de la estructura.

Cuando se reparan pequeñas áreas alveoladas o agujeros diminutos, se suele escatimar en la reparación de la superficie. Como consecuencia de ello, frecuentemente se desprende el resane. Es muy importante eliminar todas las partículas sueltas del agregado, para lograr una reparación satisfactoria. Se deben mojar todos los agregados expuestos y todas las hendiduras y se debe aplicar un buen agente adherente. Los materiales más comúnmente empleados son los epóxicos, los morteros expansivos y los morteros de cemento. El material escogido debe de ser denso y se debe de imprimir firmemente en el área de reparación.

Si el área que se va a reparar es grande, resulta más conveniente utilizar una cimbra. Algunas áreas se cimbran totalmente y el material de reparación se inyecta a presión, a través de orificios en la cimbra. Otro método es dejar un espacio abierto en la parte superior de la cimbra, colar el concreto, similar a la mezcla original, a través de la abertura, y compactarlo bien. Una vez que el concreto se ha endurecido lo suficiente como para permitir el descimbrado, se resana el área abierta que quedó sin reparar.

#### *f) Cavitación*

La cavitación, de aspecto similar al alveolado, puede aparecer varios meses o años después de que se coló el concreto. Donde quiera que haya flujo de agua que pasa por una saliente, o que baja por un muro irregular, puede aparecer cavitación en la parte baja de la irregularidad. Se supone que las burbujas que se forman en la saliente se revientan y crean así el fenómeno. Para reparar la cavitación, se emplean las mismas técnicas que se utilizan para el alveolado, procurando producir una superficie uniforme.

#### *g) Juntas frías*

Las juntas frías en el concreto masivo son causadas por el colado inapropiado del concreto plástico. Las demoras en el colado, no colar el concreto en capas horizontales, así como un vibrado inadecuado, son algunas de las muchas razones de la aparición de juntas frías. La resistencia del concreto ciertamente depende de la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto y de la cantidad y colocación de acero de refuerzo. No obstante, en el concreto masivo el acero hace el trabajo principal, siendo el concreto, poco más o menos, un bloque de relleno. Una mezcla demasiado rica solo aumenta el calor de hidratación y ayuda a propiciar una junta fría. Independientemente de la temperatura

ambiente, un aditivo retardador de fraguado disminuye las probabilidades de aparición de las juntas frías.

Cuando se forma una junta fría durante el colado, debido a demoras de entrega, y no se puede revibrar el concreto para que recupere su estado plástico, la aplicación de una capa de lechada de 2.5 cm, antes de continuar con el colado, da buenos resultados. El sistema de inyección de epóxicos es el mejor método de reparación.

#### *h) Agua en los sótanos*

Un problema frecuente en la construcción de casas habitación es la presencia de agua en el sótano. Aunque una cimentación hecha de concreto sea superior en resistencia y densidad a los bloques de núcleo hueco, esto no garantiza un sótano seco.

Una medida preventiva ideal en la construcción de la cimentación consiste en evitar la filtración de agua al sótano. Antes de levantar el muro de cimentación, se deben construir juntas ranuradas y se deben limpiar y adherir la cimentación. Se debe instalar una pequeña sección de tubo para drenaje de cimentación (manguito) para que el agua fluya desde el subsuelo del sótano hasta una fuente exterior ya sea un pozo seco o un declive natural del terreno. También se deben efectuar pequeñas instalaciones posteriores.

En las estructuras con muros hechos de concreto, los agujeros de las varillas de amarre se deben resanar con cemento hidráulico, para evitar filtraciones. Este mismo producto se puede emplear para rellenar grietas del piso y para detener filtraciones a través del piso, en el perímetro interior, causadas por la contracción del concreto. Cuando estas aberturas son demasiado angostas para hacer una buena aplicación del cemento o de otros materiales de reparación, se deben ensanchar a un espesor mínimo de 1.3 cm.

Cualquier agujero en un muro vertical interior se debe de resanar con cemento hidráulico y toda el área del muro se debe tratar con un material impermeabilizante confiable. Ocasionalmente la presencia de agua en el sótano se debe a alguna precipitación pluvial. Con un codo en la parte interior conectada a una extensión del drenaje, lejos de la cimentación, generalmente se resuelve el problema. Como último recurso, se puede instalar una bomba de sumidero.

#### 4.16 Secuencia completa de una reparación

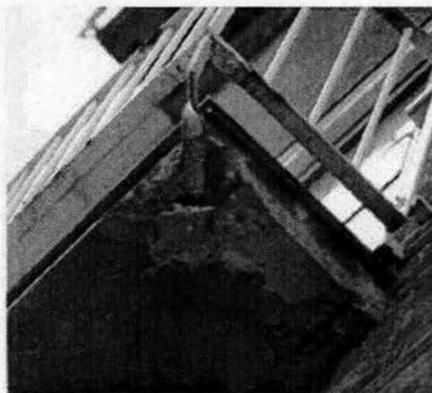


Fig. 4.16.1 Corrosión del acero de refuerzo y deterioro del concreto en la zona en que se fijó la baranda de protección del balcón. Causa del problema: Metales diferentes en contacto (baranda y acero de refuerzo de la estructura) y penetración de cloruros.



Fig. 4.16.2 Delineación de la región con cortadora de disco.



Fig. 4.16.3 Repicado de la superficie y remoción del concreto deteriorado.

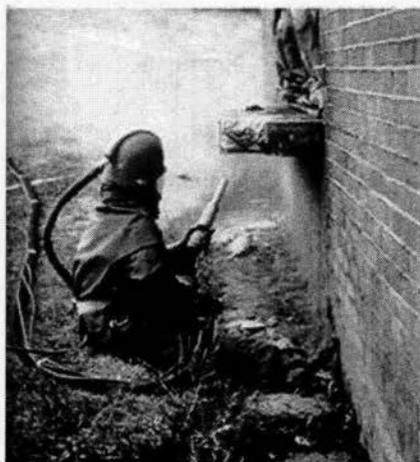


Fig.. 4.16.4 Limpieza de la superficie sana del concreto y del acero de refuerzo en la región de la reparación utilizando equipo de chorro de arena (*sand Blasting*).



Fig. 4.16.5 Aplicación del *primer* rico en zinc, sobre el acero de refuerzo de la zona a reparar.



Fig. 4.16.6 Saturación de la superficie con agua.

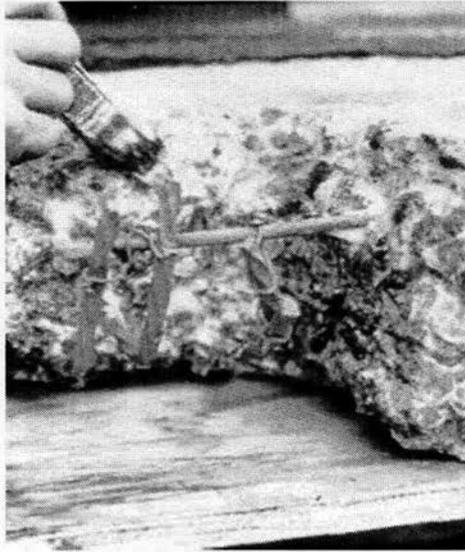


Fig. 4.16.7 Aplicación del conector (puente) de adherencia al concreto, constituido por adhesivo de base acrílica.

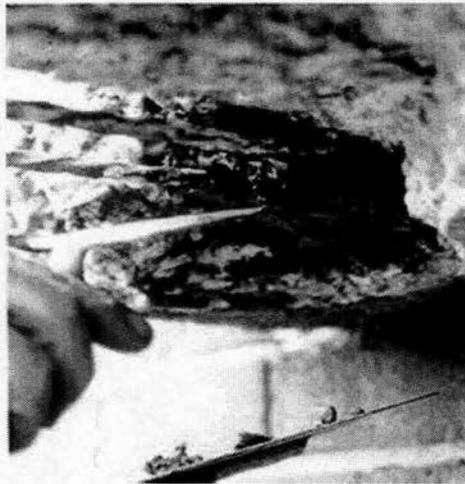


Fig. 4.16.8 Aplicación del mortero polimérico de base cemento (de baja contracción):



Fig. 4.16.9 Acondicionamiento del mortero polimérico de base de cemento (de baja contracción) para la restauración de la pieza.

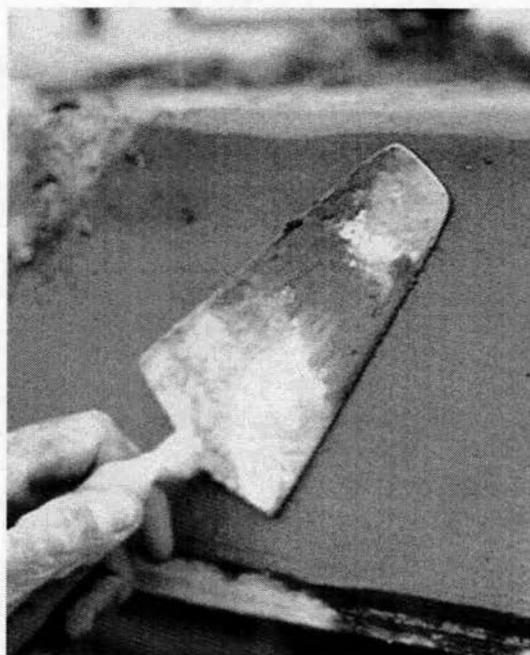


Fig. 4.16.10 Terminación de la reparación ejecutada.

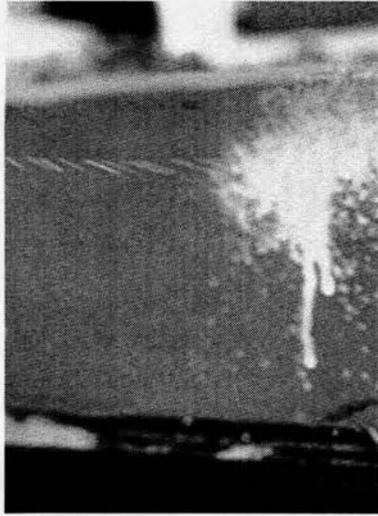


Fig. 4.16.11 Aplicación de la membrana de curado, constituida por adhesivo de base acrílica.



Fig. 4.16.12 Reparación casi concluida. Observar que fue alterada la forma de fijación de la baranda de protección del balcón, que no está ya vinculada al acero de refuerzo de la estructura.

## Capítulo 5. Control del curado y apariencia final de las reparaciones.

### Objetivo específico:

Describir como lograr una buena adherencia, apariencia final y la prevención de daños en estructuras de concreto.

El costo de las reparaciones de estructuras de concreto de gran altura y de rampas de estacionamientos puede ser enorme. Un presupuesto típico para un proyecto podría ser de cientos de miles de dólares, y podría llegar inclusive a millones. Sin embargo, un programa de reparación no está completo si no considera un sistema de protección.

Aunque los resultados de un programa de reparación son fáciles de ver para los propietarios, los beneficios de un sistema de protección pueden ser algo difícil de vender. Después de gastar tan grandes sumas en reparaciones, no es de extrañar que, en general, los propietarios se muestren renuentes a gastar todavía más dinero para proteger esa inversión.

En la mayoría de las circunstancias, las reparaciones de concreto tienen una vida finita. Así pues, la primera razón para un sistema de protección es la de extender la vida de tales reparaciones. Si carece de él, un propietario puede verse en la necesidad de reparar la estructura nuevamente, mucho antes de que lo que se hubiera previsto.

## 5.1 Apariencia Final

Al igual que con el programa de reparación mismo, los propietarios necesitan saber directa y claramente lo que están comprando; en otras palabras, ¿cómo se verá? La localización de una reparación puede ser de cierta preocupación cuando se consideran varios sistemas de protección. Los ingenieros deben también ver a largo plazo. Ellos necesitan preguntar: ¿Qué aspecto tendrá el sistema después que haya estado en el lugar algunos años? ¿Existen factores ambientales que afecten la manera en que un sistema de protección se comporta a lo largo de los años?

Es muy importante revisar la condición de la superficie al considerar cualquier sistema de protección. Muchos de los productos patentados comúnmente utilizados en las reparaciones podrían tener una química no compatible con los recubrimientos o selladores especificados para usarse sobre ellos. Antes de empezar un trabajo de producción, el sistema seleccionado debe probarse en el sitio de la obra. Al evaluar un sistema de protección, el ingeniero debe determinar las expectativas del propietario respecto a la vida del sistema de reparación. Entre otros factores que hay que considerar, están las condiciones ambientales (exposición a lluvias impulsadas por el viento, variaciones de temperatura, lluvia ácida, exposición a dióxido de carbono, etc.), exposición a rayos UV, extensión y naturaleza del tránsito (para plataforma) y el uso de la estructura (los recipientes de agua potable tienen ciertos requisitos regulatorios).

### *Igualación de color*

Como se mencionó anteriormente, es difícil igualar el color de los parches y resanes con el del concreto circundante que no tiene defectos. Aunque a veces con el concreto circundante que no tiene defectos. Aunque a veces es posible lograr una buena igualación empleando los mismos materiales del concreto original en las mismas proporciones, o añadiendo a la mezcla una proporción de cemento blanco, las condiciones de curado diferentes y las características ligeramente distintas de la superficie (por ejemplo la porosidad debida al llanado, en comparación con la de las superficies coladas en cimbra) pueden dar lugar al desgaste diferencial y a una mayor evidencia transcurrido el tiempo. Se requiere que los materiales de resane no se aprecie a través del fino acabado que se aplicará a toda la superficie para lograr una buena igualación.

### *Control de absorción*

Los parches y reparaciones a base de cemento no deben de aplicarse nunca sobre concreto seco, porque la superficie seca absorberá la humedad del mortero fresco de reparación, lo que puede reducir la adherencia entre el material fresco y el concreto endurecido, así como disminuir la calidad y durabilidad del material de reparación.

Para evitar la absorción primero debe humedecerse el área a la que va a aplicarse un acabado o se va a resanar; la mejor manera de efectuar esto, es mojando bien la superficie y, si es necesario, esperando a que la superficie esté apenas, pero sólo apenas,

seca, es decir un poco húmeda todavía, lo que se conoce como condición de “superficie seca saturada”.

### *Esgurrimiento de lechada*

Cuando el concreto se vibra, el agua excedente sube a la superficie -proceso conocido como “sangrado”-. Esta agua trae consigo una pequeña cantidad de cemento y finos que quedan sobre la superficie después de que el agua se ha evaporado. Esta carga de cemento y de finos se llama lechada y debido a su elevado contenido de agua es débil, porosa y permeable, por lo que no proporciona una buena adherencia para el concreto fresco.

Asimismo, el concreto colado contra cimbras verticales tiene también una película de pasta de cemento en la superficie que, aunque no es tan porosa como la parte superior de una junta horizontal, probablemente afecte la adherencia al colar concreto fresco sobre ella.

Cuando se requiere una buena adherencia, debe eliminarse la lechada, tanto de las superficies horizontales como de las verticales.

Existen varias maneras de eliminar la lechada de la parte superior de muros y columnas, teniendo en cuenta que el principal objetivo es que la superficie tenga el aspecto de un agregado expuesto.

1. La manera más fácil es cepillar la lechada mientras el concreto aun se encuentra fresco y comienza a endurecerse. La elección del momento oportuno es decisiva, ya que depende del clima y de la mezcla -en clima caliente, el concreto se endurece más rápido que en el clima frío, y una mezcla rica en cemento se endurece antes que una mezcla pobre-. Por lo general, el mejor momento es alrededor de una o dos horas después de que el agua de la superficie se ha evaporado.
  - El método consiste en usar un cepillo pequeño para eliminar la lechada, mientras se rocía ligeramente con agua en la superficie.
  - Es conveniente tener a la mano dos cepillos, uno de cerdas suaves y otro de cerdas duras en el caso de que el concreto se haya endurecido más de lo esperado.
  - Es necesario cepillar suavemente la superficie para no arrancar trozos del agregado grueso -sólo las puntas del agregado deben de quedar al descubierto-
2. Si se dispone de una planta apropiada, se puede eliminar la lechada mediante un chorro de agua y aire combinados, lo que puede llevarse a cabo en seis de horas o más después del colado; sin embargo, en este caso la elección del momento oportuno también es decisiva y dependerá de la presión del chorro, así como de la mezcla y del clima. No debe hacerse demasiado pronto para no arrancar partículas del agregado grueso.

3. Si la lechada se ha endurecido lo suficiente -digamos a la mañana siguiente- será suficiente un cepillo de alambre y un poco de agua para eliminar la lechada. Después se lavará bien la superficie para eliminar el polvo.
4. Si la superficie se ha endurecido lo suficiente para impedir la acción de los cepillos de alambre, deberá desbastarse mecánicamente. Lo mejor en este caso es emplear pequeñas herramientas mecánicas de percusión que deben ser manejables, como las que se utilizan para el martelinado de acabados de agregado grueso expuesto, o una pistola de aguja. El peligro de emplear este método es que puede llegar a estrellar y debilitar el agregado grueso de la superficie, o aflojar partículas grandes, por lo que no deben emplearse hasta que el concreto tenga más de tres días y, aun así, debe hacerse muy cuidadosamente. Es un método lento y costoso.
5. Generalmente el empleo del chorro de arena, mojada o seca, solamente es adecuado cuando se requiere tratar áreas muy grandes, como en el caso de una presa.

Un método empleado ocasionalmente es la aspersión de un retardante sobre la superficie del concreto, con el fin de “matar” el fraguado de manera que la lechada pueda ser cepillada al día siguiente o más tarde aun. Este método no es recomendable, pues es difícil estar seguro de que se ha removido todo el concreto retardado y, de lo contrario, el concreto fresco colado contra éste puede resultar afectado con una adherencia deficiente.

Una vez que se ha preparado y limpiado una superficie, debe conservarse limpia. Al lavarla, se tratará de evitar que escurra lechada sobre la superficie del concreto.

#### ***Labiado en juntas horizontales y verticales***

Si la cimbra para una capa superior de concreto no ha sido bien “apretada” contra la parte superior de la capa que la precede, no sólo habrá posibilidad de que escurra la lechada, sino que también se puede dar lugar al labiado, así como aun ligero alveolado o textura arenosa.

El labiado y el ligero alveolado de una superficie, por lo general no requiere resane alguno cuando el aspecto no es importante, para acabados de calidad será necesario recortar el labiado y achaflanar el corte para ajustarlo a la escala.

#### ***Rebasas de lechada***

Estas se forman por escurrimiento a través de las juntas de la cimbra, ya sea entre las piezas individuales de la misma o dentro de ellas. Estas rebabas rara vez son perjudiciales en el caso de superficies de acabado marcado por la cimbra y pueden ser consideradas como características deseables; sin embargo, no son apropiadas para casi ningún tipo de superficie. Si no son desagradables vistas a 2 o 3 metros de distancia, es

mejor dejarlas sin tratamiento, especialmente cuando son angostas y no sobresalen de la superficie más de 2 mm aproximadamente.

No obstante, esta pérdida de lechada y escurrimiento de agua, a menudo va acompañados de un oscurecimiento de la superficie, cuando el escurrimiento es excesivo, es probable que se forme una superficie de textura arenosa de 5 mm de ancho o más, a cada lado y a todo lo largo de la rebaba.

Cuando hay necesidad de remover las rebabas de lechada, es mejor hacerlo a mano y golpeando cuidadosamente con una solera y un martillo sostenidos en ángulo contra la raíz de la rebaba, para quitarla limpiamente. Este procedimiento puede dejar una línea de concreto con textura arenosa, que si no tiene más de 2 mm de ancho, puede dejarse sin tratamiento.

### *Aristas*

Las aristas y esquinas desportilladas o descascaradas por golpes accidentales o falta de cuidado al descimbrar, son difíciles de reparar satisfactoriamente, especialmente si la reparación debe pasar desapercibida. Además una reparación duradera exige mucho cuidado, particularmente en su reparación. Es preferible no reparar las esquinas y aristas pequeñas, de hasta 10 mm de largo, pues son menos perceptibles así, que si se resanan.

Deben evitarse los bordes biselados, si se requiere lograr buena adherencia entre el remiando y el concreto original; por lo tanto, cuando se hace necesaria una reparación, los bordes alrededor del perímetro deben recortarse a escuadra. Después se humedecerá para evitar la succión, y se empleará la **mezcla A** (ver 5.1.1), ajustada al color, para hacer la reparación.

Cuando el aspecto no es importante, el material a emplearse puede ser la mezcla A o una resina epóxica, pero sigue siendo esencial una cuidadosa preparación. Cabe señalar que si se emplea una resina epóxica, la superficie de concreto debe estar seca y no húmeda.

Las reparaciones a base de cemento deben curarse correctamente. Cuando el aspecto no es importante o cuando no se pretende añadir un acabado, será suficiente el tratamiento con una o dos capas de emulsión bituminosa, 2 o 3 horas después de hacer la reparación.

La mejor manera de curar reparaciones a base de cemento en áreas pequeñas, es aplicar un paño mojado a la reparación y cubrirla después con polietileno sujeto mediante una cinta adhesiva alrededor de los cuatro bordes; este recubrimiento debe mantenerse puesto durante siete días.

### *Agujeros ocasionados por los pernos*

Es casi imposible rellenar los agujeros que dejan los pernos, de manera que dicha reparación iguale el color del concreto circundante. Aún si se obtiene inicialmente una buena igualación de color, el relleno de mortero tenderá a intemperizarse de diferente

modo. Por esta razón, cuando se trate de superficies de concreto aparente, se recomienda situar los agujeros para pernos siguiendo un patrón predeterminado, de manera que pueda hacer resaltar como un adorno, ya sea ahuecando el relleno o si deben estar al ras, mediante la aplicación de un color intencionalmente diferente; cuando el relleno se pone al ras, es necesario tener cuidado de que el mortero de relleno no se esparza sobre la cara de concreto circundante. El hecho de hacerlos resaltar mediante el ahuecamiento del relleno, también tiene la ventaja de apartar la atención del frecuente oscurecimiento de los alrededores de los agujeros, causado por la casi inevitable pérdida de lechada.

El objetivo con todos los agujeros que dejan los pernos, es rellenarlos de manera que la reparación sea impermeable y duradera.

### ***Burbujas***

No es frecuente ni necesario rellenar las burbujas, si estas son pequeñas o imperceptibles; pero si son mayores de 5 mm de diámetro y la superficie va a ser vista desde una distancia inferior a los 2 o 4 metros, entonces puede requerir algún tratamiento. El objetivo principal cuando se trata de burbujas, es rellenarlas conservando como está el color y la textura del concreto restante; obviamente, resulta de gran ayuda lograr un mortero que iguale lo más posible el color del concreto circundante, pero esto no siempre es posible.

Los métodos tradicionales de ensacado o restregado con piedra pueden dar buenos resultados en concretos no aparentes, por ejemplo en estructuras destinadas a contener agua, en las que las burbujas propician el crecimiento de algas; pero no son recomendables en el caso de acabados de alta calidad, para las cuales deben aplicarse los métodos que se enumeran a continuación.

#### ***a) Rellenado cuando el aspecto no necesita ser de alta calidad***

Puede hacer mediante diversos métodos.

- Rellenando los agujeros individualmente: únicamente en el caso de burbujas aisladas que, en última instancia, pueden dejarse como están.
- Restregado: se prepara un mortero a partir de la propia superficie, dentro de las primeras 2 o 3 horas siguientes al descimbrado, y se restriega haciéndolo penetrar en los agujeros.
- Ensacado con una bola de yute y mortero constituido por 1 parte de cemento para cada 1 1/2 partes de arena fina.
- Como se indica en el punto anterior, pero empleando una llana con una esponja de hule en una de sus caras.

#### ***b) Rellenado y acabado cuando el aspecto es importante***

En este caso existe un doble objetivo: primero, rellenar completamente los agujeros de manera que el relleno sea durable y, segundo, lograr una igualación del color del concreto anterior lo más exacta posible.

- Humedézcase completamente la unidad que se va a resanar, para controlar la absorción.
- Mientras la superficie todavía está húmeda, aplíquese la **mezcla B** (ver 5.1.1), de consistencia cremosa y espesa, sobre un área de 1 m<sup>2</sup> aproximadamente, mediante una brocha común de dos nudos. Una cabeza de escoba de nylon suave, es igualmente eficaz.
- Frótese el mortero cremoso sobre el área a tratarse, mediante la llana de madera con esponja de hule e introduciéndolo en los huecos.
- Mientras el mortero conserva todavía su plasticidad, frótese la superficie con una mezcla seca de las mismas proporciones de cemento y de finos empleada para **mezcla B**, de manera que una cantidad suficiente de material seco endurezca el mortero en los vacíos y permita un relleno al ras, bien compactado. Continúese frotando hasta remover el exceso de mortero endurecido y quedar expuesto el concreto original.
- Cúrese con humedad durante tres días por lo menos.

Esta técnica de acabado no debe efectuarse a la luz directa del sol, y se obtienen mejores resultados cuando se lleva a cabo en días nublados o durante la tarde.

#### ***Parchado de áreas alveoladas***

Las áreas alveoladas en las que la profundidad afectada excede los 10 mm, probablemente requieran un resane en forma de parche. Primeramente, debe recortarse hasta la profundidad necesaria para exponer el concreto firme.

Después, se cincelará cuidadosamente el perímetro del área que se va a parchar, para formar un borde limpio, agudo, en ángulo recto y, de preferencia, cortado alrededor de 10 mm de profundidad; intentar parchar un defecto con bordes biselados es una pérdida de tiempo, ya que no son duraderos debido a la inevitable, aunque ligera contracción. La profundidad del corte debe ser lo más uniforme posible y normalmente no es necesario cortar más allá del acero del refuerzo, el cual puede quedar expuesto, a menos que el alveolado se extienda a más profundidad.

Para reparaciones poco profundas -menos de 50 mm de profundidad- es preferible utilizar mortero como material de reparación, dependiendo del tipo de mortero del acabado requerido.

Para reparaciones de mayor profundidad, aunque puede utilizarse el mortero, casi siempre es preferible - especialmente si se corta más allá del acero de refuerzo- utilizar concreto de proporciones similares a las del original, colocándolo en una cimbra con entrada de "buzón" en su parte superior.

Es indispensable que las superficies expuestas estén limpias y libres de polvo, especialmente en las esquinas, para lo cual es útil el empleo de una brocha suave. Cuando se emplea material de parchado a base de cemento, las superficies expuestas deben

humedecerse para controlar la absorción, y la reparación no debe iniciarse hasta que las superficies estén casi secas.

Para parchados en los que el acabado sea importante, debe utilizarse **mezcla A** introduciéndola bien y compactándola con las herramientas adecuadas. Además, es preciso verificar que las esquinas queden bien rellenas, que no quede aire atrapado y que se logre un buen acabado alrededor de los bordes. Para obtener un acabado áspero, frótese la superficie con una llana con esponja de hule, pero para acabado fino, utilícese una llana metálica. El parche debe conservarse húmedo hasta el día siguiente, y entonces dar a toda la unidad el acabado requerido con la **mezcla B**.

Cuando el acabado no es importante puede emplearse la **mezcla C** (ver 5.1.1).

#### *Acabados de agregado expuesto y sopleteado de arenisca*

Cuando se especifica un acabado de agregado expuesto o de sopleteado de arenisca, obviamente se espera un acabado de alta calidad. Cualquier defecto físico visible después del descimbrado, probablemente se acentuará, en vez de disimularse, por el martelinado o por el sopleteado de arenisca, aunque ligeras variaciones de color pueden hacerse menos evidentes después de remover la delgada capa de acabado. Poco puede hacerse en el caso de superficies minadas por el agua a poca profundidad, o de áreas con textura arenosa en las que tiene lugar la pérdida de agua y lechada, o bien de aquellas que presentan burbujas, aparte de aumentar la profundidad de la textura, lo cual probablemente resulte mucho más costoso y al mismo tiempo puede reducir el recubrimiento del acero de refuerzo a menos de lo especificado.

Las áreas alveoladas a poca profundidad y las superficies profundamente minadas, pueden resanarse frotándolas con la **mezcla A** y llana provista de esponja de hule (ajustando cuidadosamente el color al del mortero original del concreto) y curando correctamente durante siete días, antes de proceder al martelinado o a la aplicación del chorro de arenisca. Las áreas con alveolado más profundo y que requieren parchado, presente mayor problema, por lo que se recomienda desbastarlas hasta una profundidad de 50 mm por lo menos, y rellenarlas con concreto de las mismas proporciones de los materiales que el concreto original, pero mezclado hasta lograr una consistencia más rígida, para poder compactarlo bien al rellenar, prestando particular atención a las líneas de las juntas. Debe curarse durante no menos de siete días y, después, dejar pasar unos días más, antes de proceder al martelinado o a la aplicación del sopleteado de arenisca.

Las áreas pequeñas con diferentes apreciables de color o de textura, pueden mejorarse, a veces, mediante un cuidadoso picado manual con martillo de cabeza aguda, después del martelinado.

#### *Remoción de manchas en el concreto*

La remoción de manchas superficiales puede ser un proceso sencillo o complejo, dependiendo de la naturaleza de las manchas. Excepto por el demérito del aspecto de la superficie, muchas manchas son inofensivas para el concreto y así

permanecen. Hay unas cuantas (las manchas de ácidos, por ejemplo) que, si no se quitan, causan deterioro en el concreto. Pueden aparecer manchas en el concreto plástico, por la absorción del aceite de las cimbras; pueden surgir, meses o aún años después de que el concreto ha endurecido, por el derrame de productos químicos u otros agentes.

Algunos problemas son de decoloración del concreto, más que de manchas. Un área del concreto puede diferir de las demás debido a un exceso de agua en ese punto de la superficie del terreno. El concreto colado sobre dicha agua presentará un color más claro. Existe la posibilidad de que un lote de concreto sea de diferente color debido a que se haya empleado una marca de cemento distinta. Los cambios de fuente de suministro del agregado fino de la mezcla puede causar variación en el color.

Los concretos que contienen cloruro de calcio generalmente adquieren, al fraguar, un color más oscuro que los que no contienen este popular acelerante. Un cambio drástico de revenimiento entre los lotes hace variar el color. El exceso de afinado con la llana o una capa de cemento seco para absorber el agua de sangrado producen marcas de quemadura o decoloración. Es necesario determinar la causa, antes de prescribir un remedio. Además, a veces es mejor no hacer nada si el concreto tiene apenas unos cuantos meses de edad. Algunas decoloraciones expuestas al sol y a la intemperie durante cierto tiempo se pueden llegar a desvanecer.

Un primer tratamiento, generalmente confiable contra la decoloración, es la aplicación de ácido fosfórico, que se puede obtener en cualquier casa proveedora de productos químicos. Una solución aceptable para el concreto decolorado es de 0.5 litros de ácido, diluidos en 8 litros de agua. Se mezcla bien y se aplica con brocha sobre toda la superficie. Puede dar un color blancuzco al concreto pero, al cabo de algún tiempo, este recupera gradualmente su color normal. Si la variación de color es ligera, se puede ensayar una solución similar al blanqueador de ropa que, a veces, da buenos resultados.

Las manchas del concreto son más problemáticas que las decoloraciones. Se debe determinar la causa de la mancha, antes de llevar a cabo un tratamiento exitoso. Las manchas de café, alquitrán, pintura, grasa, tinta y otras sustancias requieren diferentes métodos de remoción. A veces, es necesario intentar varios métodos para eliminar una mancha. Las manchas no sólo se pueden remover con tratamientos químicos, sino también por métodos mecánicos de esmerilado, sopleteado con chorro de arena o de agua, escarificación o limpiado a vapor. Independientemente del método elegido, es necesario proteger los objetos cercanos susceptibles de dañarse por el tratamiento: madera, entablado de los costados, vidrio, metal, maquinaria, calentadores y unidades de acondicionamiento de aire. También se debe tener presente que los calentadores y acondicionadores de aire pueden transmitir el polvo y los olores químicos a otras partes del edificio, durante el proceso de remoción de manchas.

La mayoría de los tratamientos químicos no ácidos no dañan el concreto, si se aplican cuidadosamente. Si se emplean ácidos, primero se debe saturar de agua la superficie, para diluir el ácido absorbido por el concreto. Es preferible experimentar en un pequeño resane de prueba para determinar el éxito de cualquier tratamiento químico, antes de aplicarlo en áreas grandes. Las aplicaciones de este tipo sólo se deben dejar en el resane

de prueba el tiempo necesario para determinar su efectividad. A veces, dos aplicaciones ligeras son más efectivas y menos dañinas para el concreto, que una sola aplicación fuerte.

Por supuesto, las instrucciones del fabricante de cualquier producto químico deben ser seguidas al pie de la letra. Cuando estos productos van a ser utilizados en interiores, es necesario proveer una ventilación adecuada. Se debe evitar cualquier contacto del producto químico con la piel; hay que usar gafas y tener cuidado de no inhalar los vapores.

Las manchas de epóxicos son difíciles de remover con tratamiento químico y se elimina mejor por sopleteado con chorro de arena. En el caso de manchas de grasa o aceite no se debe de considerar el sopleteado con chorro de arena, ya que en un concreto poroso puede introducir más aún estos materiales altamente penetrantes.

Si se dificulta determinar la causa de una mancha, primero se debe intentar removerla cepillando el área con un detergente fuerte o polvo limpiador. Vale la pena aplicar un blanqueador sobre la mancha. En cualquier caso, se debe de raspar la mancha lo más posible antes de cualquier aplicación.

En el caso de manchas de óxido si no son muy profundas, se pueden tratar con una solución de 0.6 kg de ácido oxálico en 5 litros de agua.

Las manchas de pintura fresca se extienden más si se tratan de limpiar con un trapo. Se debe de absorber la pintura con toallas de papel y frotar los residuos con detergente y agua. Las manchas de pintura seca deben ser raspadas lo más posible y se les debe aplicar un emplasto saturado con algún removedor comercial de pintura.

Los asfaltos, los alquitranes y las breas tienen buena adherencia al concreto y son difíciles de remover. Antes de aplicar cualquier tratamiento, se raspa el exceso de material y se frota el área con detergente y agua. No se deben de utilizar cepillos metálicos sobre las superficies de concreto, ya que las partículas del metal se pueden romper y producir manchas de óxido posteriormente. Tampoco se deben emplear solventes, ya que éstos harán más profundas las manchas.

Un método para remover este tipo de materiales, que a veces resulta efectivo, consiste en la aplicación de un vendaje saturado con una solución de partes iguales de sulfóxido de dimetilo y agua. Se deja sobre la superficie una hora y después se frota el área con un cepillo duro. (El vendaje se forma con varias capas de tela blanca).

El moho se presenta frecuentemente sobre superficies de concreto que están en sitios constantemente húmedos y sombreados. El sulfamato de amonio, que se consigue en la mayoría de las tiendas de artículos para jardinería, se ha empleado con éxito para remover el moho. Si queda algún sedimento polvoso sobre la superficie, se puede quitar con agua.

Los aceites de petróleo y los lubricantes penetran fácilmente la superficie del concreto. Cuando se advierte un derrame, se debe absorber inmediatamente con toallas de

papel o tela absorbente. Se debe absorber no limpiar, ya que al limpiar se extiende más la mancha. Se debe de cubrir el área con algún material absorbente, con harina o cemento seco, y se debe dejar cubierta durante 24 horas. Repítase la aplicación cuantas veces sea necesario.

### 5.1.1 Mezclas recomendadas para resanes y acabados

#### 1. Para acabados de alta calidad

**Mezcla A:** *para parchado, relleno de agujeros de pernos y resanes que no sean de la superficie de acabado.*

Mézclese cemento con finos de piedra caliza seca, como se reciben y en proporciones que fluctúan entre 1:1 y 1:2 (dependiendo la proporción real del color de la superficie que deba igualarse). Dilúyase el Cemprover en una cantidad igual de agua y agréguese esta solución a la mezcla de materiales secos, hasta obtener un mortero de consistencia apenas húmeda. A menudo es mejor hacerlo sobre un escantillón, empleando llanas de metal para lograr el mezclado total requerido.

Cuando se requiere un color gris muy oscuro, puede agregarse una pequeña cantidad de pigmento negro; otra alternativa es emplear cemento resistente a los sulfatos. Para lograr un color gris muy pálido, puede agregarse cemento blanco en una proporción de tres partes de cemento blanco por una parte de cemento normal. Cuando se mezclen cementos para ajustar el color, obsérvese que una parte del cemento *mezclado* es la que hay que mezclar con una o dos partes de agregado.

#### **Mezcla B:** *capa de acabado*

Se pasa la piedra caliza a través de un tamiz de 600  $\mu\text{m}$  o de 300  $\mu\text{m}$ , lo que dependerá de la textura requerida en el acabado. (Para acabados con marcas de tableros de cimbra y de textura más áspera, suele ser satisfactorio el tamiz de 600  $\mu\text{m}$ . pero para acabados más tersos, como los que se obtienen de triplay recubierto de plástico, debe emplearse el de tamiz de 300  $\mu\text{m}$ ). Mézclese este fino con un volumen igual de cemento, después de hacer los ajustes necesarios para el color. Dilúyase el Cemprover con tres partes de agua en una cubeta y agréguese la mezcla seca, agitando bien hasta obtener una consistencia cremosa y manejable con la brocha. Se debe disponer de un poco más de mezcla seca, para el caso de tener que endurecer ligeramente la mezcla; este puede ser necesario cuando la superficie original del concreto queda expuesta al frotarla con la llana provista de esponja de hule.

#### 2. Cuando el acabado no es importante

#### **Mezcla C:** *para parches y relleno de agujeros de pernos*

Se pasa arena común de colado a través de un tamiz de 2.4 mm. Se mezcla cemento Portland normal con la arena en proporción 1:2, y después se agrega el Cemprover diluido en agua (en proporciones iguales) hasta lograr una consistencia apenas húmeda.

## 5.2 Curado del concreto de reparación

Al igual que sucede con el concreto original, las reparaciones hechas a base de cemento se necesitan curar adecuadamente. El método que vaya a usarse dependerá de cada caso en particular.

En el concreto que no vaya a quedar expuesto, será más que suficiente aplicar una o dos capas de emulsión bituminosa unas dos o tres horas después de terminar la reparación. Para curar pequeñas áreas reparadas, se podrá cubrir con poliestireno sellado con cinta alrededor de sus bordes, y dejarlo en estas condiciones durante un mínimo de siete días. Las áreas de mayor extensión se deberán curar de la misma manera que el concreto principal.

El concreto ni endurece ni se cura con el secado. El concreto requiere de humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente está relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta. Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia; el hecho de que este seco, no es indicación de que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas.

El conocimiento de la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. Por ejemplo, se sabe que el concreto debe seguir reteniendo suficiente humedad durante todo el periodo de curado para que el cemento pueda hidratarse. El concreto recién colado tiene agua abundante, pero a medida de que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuara a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

La superficie de un piso de concreto que no a tenido suficiente curado húmedo es una muestra común. Debido a que se seca rápidamente, el concreto de la superficie es débil y se produce descascaramiento en partículas finas provocado por el tránsito. Asimismo, el concreto se contrae al secarse, del mismo modo que lo hacen la madera, papel y la arcilla (aunque no tanto). La contracción por secado es una causa fundamental de agrietamiento, y le ancho de las grietas es función del grado del secado.

En tanto que la superficie del concreto se seca rápidamente, al concreto en el interior le lleva mucho mas tiempo secarse.

Note que luego de 114 días de secado natural el concreto aun se encuentra muy húmedo en su interior y que se requiere de 850 días para que la humedad relativa en el concreto descendiera al 50%.

El contenido de humedad en elementos delgados de concreto que han sido secado al aire con una humedad relativa de 50% a 90% durante varios meses es de 1% a 2% en peso del concreto, del contenido original de agua, de las condiciones de secado y del tamaño del elemento de concreto.

El tamaño y la forma de un miembro de concreto mantiene una relación importante como la velocidad de secado. Los elementos del concreto de gran área superficial en relación a su volumen (tales como losas de piso) se secan con mucho mayor rapidez que los grandes volúmenes de concreto con áreas superficiales relativamente pequeñas (tales como los estribos de puentes).

Muchas otras propiedades del concreto endurecido se ven también afectadas por su contenido de humedad; en ellas incluye la elasticidad, flujo plástico, valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia al desgaste, conductividad eléctrica, durabilidad.

El curado tiene por objeto conservar el agua del mezclado del concreto, para que este fragüe y endurezca en condiciones satisfactorias, y debe dársele especial atención por tratarse de un factor de gran importancia para la resistencia y durabilidad del concreto.

Inmediatamente después de terminarse la superficie de la obra, se procederá a cubrirla con una capa impermeable de algún otro producto aprobado por el laboratorio, que se aplicara finamente atomizada, por un tiempo mínimo de 24 horas, al cabo de las cuales se podrá seguir usando, o hacer algunos de los siguientes procedimientos :

Arena húmeda.- Con un espesor de 2" y manteniéndola constantemente húmeda

Lámina de agua.- Con un tirante de 2", retenida con bordos de arcilla

Riego de agua. Para conservar constante y eficientemente húmeda toda la superficie

Este curado deberá darse por 14 días si se usó cemento normal, o 4 días si se empleo cemento de resistencia rápida

El aumento de resistencia continuara con la edad mientras este presente algo de cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene.

Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de restaurar.

### 5.3 Tratamiento de juntas

Una junta de construcción, o junta de trabajo, es aquella en la que hay necesidad de colar concreto fresco contra o sobre concreto ya endurecido.

Las juntas de construcción son útiles porque es posible colar el concreto continuamente, desde el principio hasta el final de la construcción, ya que puede estar limitada la cantidad disponible de cimbra o, en otro caso, puede existir un límite en la cantidad de concreto que conviene colar de una sola vez, lo que ocurre con frecuencia.

El concreto fresco puede adherirse al concreto endurecido de manera tal, que la resistencia de la junta sea casi tan buena como la del mismo concreto, si esto se hace adecuadamente:

- El primer requisito para lograr una buena adherencia es que la superficie del concreto endurecido esté limpia, libre de lechada y tenga el aspecto de agregado expuesto.
- En segundo término, el concreto fresco debe colocarse y compactarse de manera que se “amarre” con la superficie preparada.

Las juntas siempre son perceptibles, independientemente de lo bien hechas que estén, por lo que siempre debe intentarse formar una línea nítida en la parte exterior de la unión. Cuando el aspecto visual es importante, especialmente en superficies aparentes de alta calidad, los diseñadores frecuentemente la hacen formar parte de los detalles decorativos.

Las juntas de construcción verticales en muros, vigas y losas, se forman generalmente contra topes, que deben estar situados donde el acero de refuerzo es menos denso; además, deben estar bien hechos, ser fácilmente descimbrables y fijos de manera que impidan la pérdida de lechada de cemento.

La mayoría de las juntas de construcción verticales no requieren tratamiento alguno en su superficie, por lo que son bastante satisfactorias las superficies simplemente lisas. Solamente cuando la junta está sometida a fuerzas elevadas de cortante (es el ingeniero quien decide esto), o bien cuando es necesaria una junta monolítica impermeable, la superficie requerirá alguna preparación. Los métodos adecuados son los siguientes:

1. Cuando sea posible retirar el tope, 4 o 6 horas después del colado, sin alterar la cimbra principal, puede emplearse el método de cepillo y aspersión descrito anteriormente para superficies horizontales.
2. Si el tope se quita la mañana siguiente, por lo general el concreto estará aún bastante fresco para poder retirar la superficie de cemento hasta una profundidad

de 2 mm aproximadamente. Esto debe hacerse cepillando la superficie con un cepillo de alambre después de quitar el tope.

3. Si la superficie ya se ha endurecido, probablemente será necesario desbastarla con un martillo o mediante chorro de arena, para obtener la textura deseada.
4. La malla de metal desplegado con un marco adecuado, es especialmente apropiada para los topes, principalmente cuando se aprecia congestión en el acero de refuerzo. En circunstancias en las que no es indispensable contar con una buena adherencia en la junta, puede dejarse el metal desplegado, pero es más probable que haya necesidad de quitarlo. Si se quita al día siguiente, tirando de él, la superficie estará lo suficientemente áspera y libre de lechada para no requerir ya ningún tratamiento adicional. Cuando la línea y el aspecto de la junta son importantes, debe mantenerse el metal desplegado a unos 40 mm de la cara, para evitar desportillamiento de esquinas y aristas a lo largo de ésta última.

Cuando se requiera resaltar las juntas horizontales o verticales, o se desee una línea demarcada, debe tenerse cuidado, especialmente cuando se martelina, de no desportillar las aristas a lo largo de la línea de la junta. Es buena idea dejar sin tratamiento un margen de 25 o 40 mm.

#### ***Colado de concreto fresco***

Ya sea que se necesite o no una buena adherencia en la junta de construcción, el colado y compactación del concreto fresco en o sobre una junta requiere cuidado y atención particular. Un concreto pobremente compactado o alveolado en la parte inferior del colado de un muro o de una columna, deja en ambos una junta débil y de aspecto pobre.

Primero debe eliminarse toda la suciedad o polvo de la superficie de concreto, ya que estos elementos podrían actuar como una capa de separación. Asimismo, deben retirarse los residuos de aserrín, trocitos de madera, clavos y trozos de alambre de amarre. La mejor manera de hacerlo es soplando la superficie con aire comprimido. Cuando no se disponga de aire comprimido, tendrá que cepillarse muy bien. Esta limpieza debe hacerse antes de levantar la cimbra, pero si queda algún residuo después de levantarla, habrá que eliminarlo quitando uno de los topes.

El empleo de morteros o lechadas, o el recurso de mojar la cara de la junta en superficies de concreto preparadas, no es recomendable por las siguientes razones:

1. Se ha demostrado mediante pruebas que no se mejora sensiblemente la adherencia entre el concreto endurecido y el concreto fresco.
2. El limitado acceso a una junta horizontal en la parte inferior de un colado para el cual ya se ha levantado la cimbra, hace difícil verificar si el mortero o lechada se

aplicaron uniformemente; en todo caso, para que esta aplicación sea efectiva, la superficie debe limpiarse mediante un cepillo energético.

3. Es prácticamente imposible aplicar mortero o lechada en una junta vertical, especialmente cuando ya se ha levantado la cimbra.
4. Se corre el riesgo de que la lechada o el mortero se seque antes de que el concreto sea colocado; si llega a secarse significa, sencillamente, que se ha vuelto a aplicar la lechada que tan cuidadosamente se eliminó antes.
5. El aspecto exterior de la junta puede deteriorarse debido a una línea de diferente color.

En juntas verticales el concreto debe colocarse directamente en su posición.

La primera capa de concreto no debe ser deficiente en finos. Si existe algún peligro de perder cierta cantidad del mortero del lote al transportar o colar el concreto, la primera mezcla debe hacerse un poco más rica en cemento que las mezclas subsecuentes. Tratándose de concreto premezclado es común que la descarga sea un poco "huesuda" al principio, en este caso puede ser necesario aceptar los primeros  $0.25 \text{ m}^3$  para mezclarlos y adicionarlos posteriormente.

Se extiende uniformemente la primera capa sobre la superficie, hasta lograr un espesor de sólo  $600 \text{ mm}^2$ , se producirá alveolado en la parte inferior. Cuando se emplea una tolva móvil para muros, hay que moverla a lo largo de la parte superior. Además, deben utilizarse tablas deflectoras para verificar si el concreto ha sido descargado directamente hasta el fondo de la cimbra, y asegúrense de que se puede ver el concreto en el fondo, empleando lámparas si es necesario. Se debe evitar colar concreto en contacto con la cara vertical de un muro.

Se compactará completamente la primera capa de concreto, para lo cual será necesario insertar vibradores atizadores en centros de  $0.5 \text{ m}$  aproximadamente.

Por lo general no es conveniente hacer fluir horizontalmente el concreto mediante vibración, pero en juntas verticales el flujo de un poco de concreto hacia las juntas ayuda a evitar la posible falta de compactación. Conforme se van colando las capas de concreto para un muro, estas deben mantenerse apartadas de la junta vertical de  $150$  a  $300 \text{ mm}$ , empleándose un atizador para hacer que el concreto fluya hacia la junta. Esto debe de hacerse con mucho cuidado.

Puesto que las juntas de construcción siempre quedan a la vista y posiblemente su aspecto sea desagradable, es conveniente ocultarlas, convirtiéndolas en características deliberadas. Estas características deben distribuirse y detallarse cuidadosamente para que coincidan con el conjunto arquitectónico o formen parte de él. Es difícil hacer juntas al ras con una línea bien definida, por lo que deben estar limitadas a trabajos que posteriormente serán recubiertos con algún acabado.

## 5.4 Acabados

Si se necesita un acabado de calidad se deberá planear desde un principio y tomar en cuenta que las reparaciones, aunque a menudo son básicas para fines de durabilidad o apariencia, tienen sus limitaciones. Si se está trabajando en un proyecto en el cual la apariencia final del concreto es muy importante, desde el principio se deberá invertir el tiempo y cuidado necesarios para lograr un acabado de alta calidad.

No es correcto confiar en medidas correctivas posteriores para ocultar los defectos y las irregularidades. Este tipo de reparaciones, como es de todos conocido, se lleva mucho tiempo y es por lo tanto costoso. Lo más importante es que rara vez resulta completamente exitoso.

En pocas palabras, para lograr acabados de calidad superior es necesario tener un concreto que se haya proporcionado debidamente, se haya mezclado perfectamente y se haya colocado y compactado correctamente en una cimbra bien diseñada y bien hecha, para posteriormente curarse completamente. En resumen, se necesita un alto grado de esmero en todas las etapas.

Desafortunadamente, aun con las mejores intenciones se pueden tener errores y pequeños defectos por lo que se tendrá que reparar la superficie de concreto. En este caso también se deberá tener cuidado ya que un procedimiento pobre y el uso de materiales equivocados pueden dar lugar a un remedio que es peor que el mal original.

Cuando se desea un acabado de alta calidad -incluidas las superficies arquitectónicas (por ejemplo con la impresión de tablonés), el agregado aparente y las superficies planas tersas- será necesario efectuar reparaciones en las áreas con huecos dejados por el aire atrapado en el concreto y en los agujeros dejados por los separadores de cimbra a fin de garantizar la durabilidad. Por otro lado, los resanes deberán quedar imperceptibles dentro de lo posible con respecto al resto del área.

Otros defectos, tales como un número excesivo de huecos y irregularidades o rayados ocasionados por los granos de arena, también necesitarán repararse de tal manera que el acabado final quede razonablemente uniforme.

En el caso de superficies que no sean visibles -debido quizá a que posteriormente recibirán un tratamiento decorativo o se recubrirán con algún tipo de acabado- los defectos tales como los huecos, las irregularidades o rayados y la falta de uniformidad en el color no son importantes. El único objetivo será el lograr una reparación que sea durable y que proteja el acero de refuerzo, por lo que las reparaciones se limitarán a los defectos por apanamiento y a los agujeros dejados por los separadores de cimbra.

Es extremadamente difícil lograr con certeza un concreto plano de color uniforme libre de defectos. Lo mejor que puede alcanzarse puede diferir en gran medida de lo que el cliente espera. La aceptación de este hecho aunado a la voluntad de llegar a un acuerdo entre las partes involucradas es por lo tanto algo muy deseable.

Los defectos que tengan un número reducido y poca cobertura con respecto al área total es mejor no tratarlos en la mayoría de los casos. Los defectos de aspecto desagradable a una distancia de uno a dos metros pueden notarse menos -o desaparecer- a mayores distancias. Por lo tanto nunca inspeccione el acabado de un concreto a una distancia menor de la que normalmente se verá. Esto es válido sobre todo en los casos de edificios de más de dos pisos. De hecho, es una buena regla nunca inspeccionar una superficie desde una distancia menor de tres metros a menos que vaya observar regularmente a menores distancias.

Resulta más fácil alcanzar uniformidad de color en un concreto blanco, más que con el gris. Cualquier resane o reparación, a pesar de lo bien que se haga, es improbable que case perfectamente con el concreto circundante. Por lo tanto, las técnicas recomendadas implican un tratamiento superficial general posterior del área afectada a fin de ocultar cualquier reparación localizada que se haya hecho.

### *Casado de color*

Como ya se mencionó, resulta difícil casar el color de cualquier resane o reparación con el concreto circundante. De hecho, se puede lograr un buen casado al principio si se usan los mismos materiales con las mismas proporciones que en el concreto original o incluso agregando un poco de cemento blanco a la mezcla de reparación a fin de alcanzar la misma tonalidad de gris.

Sin embargo, condiciones diferentes de curado y características superficiales ligeramente distintas -derivadas del hecho de que el resane se aplica con cuchara de albañil mientras que el concreto se coló dentro de la cimbra- pueden dar lugar a diferentes condiciones de intemperismo. Como resultado, la reparación será mucho más obvia con el paso del tiempo. Las técnicas y los materiales descritos se han desarrollado con este enfoque en mente.

### *Control de succión*

Las mezclas para reparación a base de cemento nunca se deberán aplicar al concreto seco ya que absorberá la humedad del nuevo mortero y con ello se evitará que se adquiera una buena adherencia lo que redundará en una menor calidad y durabilidad de la reparación. Las áreas que se van a reparar o a terminar se deberán primero humedecer para controlar cualquier tipo de succión. Esto se logra con agua limpia, preferiblemente aplicada el día anterior, de tal manera que la superficie esté ligeramente mojada en el momento de efectuar la reparación.

### *Adherencia*

Es más viable poder lograr una buena adherencia, sobre todo cuando la zona defectuosa es profunda, cuando se aplica primero una capa de liga de cemento y de hule de estireno butadieno. La capa de liga no deberá dejarse secar antes que se aplique la mezcla de reparación por lo que el resane se deberá iniciar de inmediato.

## 5.5 Consideraciones finales

El Instituto Americano del Concreto, en su Guía para Concreto Durable define la durabilidad del concreto como la capacidad para resistir climas rigurosos, los ataques químicos, abrasión, y cualquier otro proceso de deterioro. Con mucha frecuencia los diseñadores consideran de igual forma la durabilidad del concreto con la resistencia a la compresión.

Ellos determinaron que si el concreto alcanza la resistencia especificada entonces será durable, desafortunadamente eso no es verdad; aún con el concreto de alta resistencia.

La durabilidad del concreto es afectada por la resistencia, pero también es afectada por otras propiedades del concreto endurecido, contenido de aire, permeabilidad e impermeabilidad al agua y estabilidad del volumen. Los materiales del concreto y las proporciones, las prácticas de construcción y las condiciones de exposición también afectan la durabilidad.

La durabilidad, trabajabilidad, permeabilidad, así como una dimensión estable, son algunos factores principales que permiten obtener concretos durables y una producción de concreto de alto comportamiento.

En cuanto a la durabilidad, esta es la base del moderno conocimiento fisicoquímico que investiga la mecánica de fracturas con ayuda de modernos instrumentos analíticos, en conjunción con la información lógica de los casos estudiados en los laboratorios de prueba.

De aquí que la investigación y el desarrollo de la tecnología de materiales puede resolver las necesidades cambiantes de la industria de la construcción, como la creación de concretos de alto comportamiento. Para lograr esto último debemos utilizar agregados de alta calidad como cenizas volátiles, puzolanas, humos de sílice y escoria.

Se debe tener cuidado en la selección de los materiales componentes, el empleo de aditivos reductores de agua de alta eficiencia y el mezclado, todo ello bajo un cuidadoso control de calidad.

### 5.5.1 Mejoras de concreto

El concreto no es durable, si para producirlo se usan materiales inapropiados o de mala calidad (cemento, agua, agregados y aditivos).

- a) cemento y agua El cemento y agua de mala calidad, pocas veces causan problemas de durabilidad, pero si se usa demasiada agua, cemento insuficiente, o en tipo erróneo de cemento puede ser la causa de un deterioro prematuro.

El tipo de cemento requerido y las propiedades dependen de:

- Si el concreto estará sometido al ataque de sulfatos disueltos en el agua del suelo o subsuelo.
- Si los agregados del concreto son potencialmente reactivos a los álcalis.
- Si la estructura almacenará sustancias químicas que pudieran atacar al concreto.

Los problemas de durabilidad causados por los agregados reactivos a los álcalis pueden ser evitados controlando el contenido de álcalis del cemento. Sin embargo, el uso de cemento con poco contenido de álcalis (menos de 0.60% como equivalente del óxido de sodio), no siempre evita la reacción de los agregados alcalinos. Con ciertos agregados volcánicos vídriosos a la reacción aún puede tener lugar.

- b) Agregados. Los agregados finos y gruesos generalmente representan del 60 al 75% del volumen del concreto, de modo que el uso de agregados de buena calidad ayudan a conseguir un concreto durable. Algunos agregados altamente absorbentes tales como areniscas y caliza se expanden cuando absorben la humedad y pueden causar agrietamiento en el concreto. La grava sílica es también un agregado poroso. Cuando el agua absorbida se congela y se expande, la grava sílica se parte y causa un abultamiento.

Los contaminantes tales como limo, arcilla, mica, carbón, esquisto, pizarra, humus y otras materias orgánicas pueden causar problemas de durabilidad en el concreto. También la sílice reactiva a los álcalis puede causar expansión, agrietamiento y deterioro.

### **5.5.2 Durabilidad del concreto**

Decir que el concreto es el material de construcción más ampliamente usado en el mundo es declarar lo obvio. Desgraciadamente, una buena proporción del concreto en servicio no es tan bueno como debería o podría ser, especialmente con respecto a la durabilidad. La situación no es satisfactoria, pero tampoco inevitable. Así pues, se tiene el conocimiento y la capacidad para hacer buen concreto, pero no siempre lo hacemos así. Un concreto es adecuado para el propósito que se le pretenda dar y para la esperanza de vida durante la cual ha de permanecer en servicio.

La durabilidad se puede definir diciendo que cada estructura de concreto debe continuar desarrollando sus funciones para las que fue concebida, es decir, mantener su resistencia requerida y brindar su servicio durante la esperanza de vida especificada o tradicional en las condiciones a las que se espera que esté expuesta la estructura.

Dependiendo de las condiciones de exposición, la durabilidad puede requerir el uso de un tipo particular de cemento, y de un concreto adecuadamente denso, con una compactación total y una estructura de poros satisfactoria, especialmente el tamaño de

los poros, de la pasta de cemento hidratada. Uno de los factores es la relación agua / cemento,  $a/c$ , pero esto debe ser compatible con la trabajabilidad necesaria para lograr la compactación total (o consolidación). Así pues, la  $a/c$  no debe ser demasiado baja, ya que la compactación total es más importante que una baja relación de  $a/c$  combinada con concreto pobremente compactado. Por otro lado, el criterio de distribución del tamaño de poros en la pasta de cemento hidratada puede requerir una  $a/c$  significativamente más baja que el valor necesario a partir de consideraciones de resistencia. El punto que se está tratando de resaltar es que la especificación de una resistencia a la compresión relativamente baja, que puede lograrse con una relación más alta de  $a/c$  que la necesaria para asegurar la durabilidad requerida, puede llevar al contratista a consideraciones erróneas en la etapa de licitación. Es más aconsejable especificar una resistencia más alta, de modo que resulte compatible con la que sea necesaria para la durabilidad.

### ***Recubrimiento del refuerzo***

El recubrimiento es la distancia más corta entre la superficie de un elemento de concreto y la superficie más cercana del acero de refuerzo. En cierto número de estructuras en servicio, el espesor del recubrimiento era incorrecto. En muchas de ellas, el recubrimiento era demasiado pequeño, y el resultado era la corrosión del acero.

Existen varios propósitos para procurar el recubrimiento. El primero es poner concreto alrededor del acero de refuerzo en una viga, de modo que el esfuerzo en el concreto en flexión se transfiera al acero, el cual puede entonces desarrollar una fuerza de tensión. Esto es obvio para cualquier diseñador estructural. Lo que puede no ser tan obvio para la persona en el sitio de la construcción es que, en una viga o en una losa, demasiado recubrimiento puede dar como resultado una capacidad reducida para soportar momentos del elemento estructural.

El recubrimiento también es importante desde el punto de vista del agrietamiento por contracción. El concreto no reforzado, si está restringido (lo cual casi siempre es el caso) permitirá que se desarrollen concentraciones de esfuerzo por tensión. Esto normalmente conduce a agrietamiento por contracción.

El remedio consiste en proveer de refuerzo, muy cerradamente espaciado y localizado lo suficientemente cerca de la superficie expuesta en proceso de secado del elemento del concreto. El espesor del recubrimiento no debe ser excesivo.

Esto lleva a la necesidad de un recubrimiento adecuado para la protección del refuerzo contra la corrosión. Aunque la superficie del acero es pasivada y protegida por el ambiente alcalino del líquido de los poros en la pasta de cemento hidratada, esta protección puede ser destruida por la carbonatación y por el ingreso de iones agresivos que llegan hasta la superficie del acero. El ion más común es el cloruro, que procede ya sea del agua de mar -en rociaduras o transportado por aire- o de los agentes descongelantes en carreteras o puentes.

Otra razón importante para procurar el recubrimiento adecuado del refuerzo es la protección del acero contra el fuego. La capacidad de resistencia al fuego es un tema complicado porque involucra la acción estructural, pero en esencia, los reglamentos de diseño especifican el recubrimiento mínimo de varios tipos de recubrimientos estructurales tales como vigas, columna, pisos y nervaduras necesarias para asegurar la resistencia al fuego durante cierto número de horas.

Todo lo anterior demuestra que lograr el recubrimiento apropiado, ni insuficiente poco ni excesivo, es de gran importancia. Existen tres razones de por qué, en la práctica, el espesor del recubrimiento puede resultar insatisfactorio. Primero, el recubrimiento puede ser incorrectamente especificado. Segundo, la especificación puede ser incorrectamente formulada. Tercero, el recubrimiento real, tal como ha sido construido, puede ser diferente del que fue especificado.

Esperar exactamente el mismo recubrimiento a lo largo de cada varilla de refuerzo es algo fuera de la realidad. El ACI especifica una tolerancia negativa, es decir, un recubrimiento demasiado pequeño de 10 o 13 mm, dependiendo de la profundidad del elemento. En ninguno de los reglamentos se nos dice en cuánto puede excederse el recubrimiento.

La ejecución del doblado del acero debe verificarse cuidadosamente; no será suficiente el ajuste de la posición del acero por medio de un marro. Los bancos y los espaciadores, así como también los amarres, debe fijarlos un operador competente y no solamente alguien que tenga tiempo de hacerlo.

### *Compactación*

Se ha mencionado la protección del acero contra la corrosión por medio de un espesor adecuado del recubrimiento, pero un espesor adecuado proporciona protección adecuada únicamente si el concreto en la zona del recubrimiento esta completamente compactado (es decir, consolidado). La calidad del concreto que realmente se logra en la zona del recubrimiento es más importante que la calidad del concreto en cualquier otro punto de la estructura.

### *Mezclado*

Se ha encontrado con cierto número de casos en los que el concreto en la estructura real parecía no haber sido adecuadamente mezclado. La causa de esto generalmente se encontraba en un inadecuado tiempo de mezclado. El tiempo de mezclado esta especificado de una manera general por el ACI 304.

Las consecuencias de un mezclado inadecuado son serias: un contenido variable de agregado, una relación variable de a/c, y concreto que no puede ser apropiadamente compactado por aquí y por allá. El remedio es obvio: establecer el tiempo de mezclado mínimo necesario, especialmente cuando se usa humo de sílice, y asegurarse de que se

consiga esto en la práctica en cada dosificación de concreto, sin importar cuánta prisa pueda haber.

### *Curado*

El curado del concreto es la más fácil de las operaciones que requieren baja tecnología. Y aún cuando esto no es así, se lo ve de esa manera. El curado afecta principalmente al concreto en el recubrimiento del refuerzo. Lo que es particularmente significativo es que el curado afecta la calidad real del concreto más que su calidad potencial.

Vale la pena subrayar que el curado húmedo es esencial para que el cemento se hidrate tanto como sea posible.

A pesar de la importancia del curado, es un hecho que éste invariablemente está especificado, pero rara vez se logra un curado satisfactorio.

El curado es una operación que sigue al final de las operaciones de colado del concreto; en consecuencia, existe un deseo -que no es extraño- de seguir con la siguiente fase del trabajo. Es visto por muchos como una operación tonta, algo que no es trabajo: simplemente rociar agua sin que al final del día quede rastro de ello.

Si se pone énfasis en asegurar el curado, es porque esto es lo que puede hacer toda la diferencia entre tener un buen concreto al final de la operación de colocación que llegue a ser un buen concreto en servicio, por un lado, y por el otro, tener un buen concreto arruinado por la falta de un pequeño esfuerzo. La importancia del curado es en nuestros días todavía más grande que en el pasado, por tres razones.

Primero, los cementos modernos, con su tasa más alta de ganancia de resistencia, han permitido, desafortunadamente, el empeoramiento en la práctica del curado. La explicación es como sigue: debido a que las resistencias adecuadas para la remoción de la cimbra o para negociar la superficie de concreto se alcanza muy pronto, existe una excusa para descontinuar el curado efectivo a una edad muy temprana. La segunda razón es que ahora se utilizan valores más bajos de  $a/c$  que en el pasado, y a fin de evitar la excesiva contracción autógena y la autodesecación, es necesario el ingreso temprano de agua en el concreto.

Tercero, las mezclas modernas con frecuencia contienen ceniza volante y escoria de alto horno granulada y molida. Estos materiales, especialmente el último, reaccionan en periodos de tiempo más largos, y consecuentemente necesitan un curado prolongado.

## Conclusiones

Los criterios de reparación de estructuras de concreto es muy extenso. La elección de algún criterio de reparación específico depende de varios factores que incluyen aquellos de carácter técnico, así como algunos de carácter socio-económico. Es muy importante que estos factores sean evaluados antes de tomar la decisión de adoptar algún criterio de reparación para poder lograr una rehabilitación segura y económica. Luego de la inspección, estudio y diagnóstico de los problemas que se pueden presentar en la reparación de una estructura de concreto, la selección de un procedimiento de reparación debe tener en cuenta varios factores tales como: la eficiencia de la mano de obra (es necesario de la supervisión de una persona capacitada para lograr un buen resultado), la seguridad, los materiales, los equipos los costos y las condiciones especiales de la obra, la temperatura, los plazos y la agresividad del ambiente antes y después de alguna reparación.

Como se mencionó en este trabajo, para cada tipo de problema puede haber más de una solución y más de un procedimiento de reparación, se deberá seleccionar en función de los factores técnicos y económicos. La disponibilidad de la tecnología con que se cuenta es fundamental para la elección del método a utilizar, es decir; la existencia o no, del personal habilitado, los materiales y equipos con los que se pudiera contar. Los procedimientos que exigen equipos específicos, como por ejemplo en el caso del concreto y el mortero polimérico lanzados, son necesarios cuando se trata de reparaciones de grandes áreas y de forma repetida. Otros, aparentemente más sencillos, puede requerir equipo especial para lugares en que no se permita levantar mucho polvo y no hacer ruido excesivo, o en su caso cuando se tratara de reparaciones de pequeña dimensión.

Es necesario recordar que la seguridad y la satisfacción del propietario será atendida en la medida que haya una inspección eficiente y un control de calidad sobre todas las actividades comprometidas. Se recomienda realizar ensayos de resistencia, adherencia y durabilidad de los materiales, además de comprobar la eficiencia de ciertos métodos a través de testigos, pruebas de carga, ultrasonido, mediciones de potenciales y corrientes de corrosión y todos los recursos disponibles que la tecnología pone al servicio del ingeniero para facilitar su trabajo.

El objetivo de esta tesis es brindar una guía para la metodología de la intervención, la selección apropiada tanto del procedimiento como de los sistemas y productos, dentro de la estrategia escogida para la rehabilitación. Las etapas claves del proceso son: la rehabilitación, saneado, reparación, reforzamiento si es necesario, y protección exitosa de estructuras de concreto deterioradas, se requiere previamente de una evaluación y diagnóstico profesional, así como del diseño, supervisión y ejecución de una estrategia técnicamente acertada.

La evaluación del estado real de la estructura de concreto armado dañada, deberá ser llevada a cabo por personal idóneo, altamente calificado y experimentado. El proceso de evaluación debe siempre incluir los siguientes aspectos:

- Valoración del estado actual real de la estructura, incluyendo defectos visibles, no visibles y potenciales.
- Revisión del tipo de uso y exposición anterior, actual y futura.
- Muestreo y ensayos representativos.

Para emitir el diagnóstico se deben incluir aspectos como revisión del diseño original, los métodos, programas o proceso de construcción y resultados de la evaluación, que permitan establecer las causas del origen del daño, así:

- Daños mecánicos, químicos y físicos del concreto o de la estructura.
- Daños debidos a la corrosión del acero de refuerzo.
- Daños debidos a deficiencias congénitas o de concepción de construcción de la estructura.

Para las estructuras deterioradas que se requiere rehabilitar a través de un saneado, reparación, reforzamiento y protección, existe un sin número de opciones o alternativas de donde escoger. Estas opciones dependen de los futuros requerimientos de la estructura.

Las opciones incluyen:

- No hacer nada.
- Cambiar el uso de la estructura o reducir su carga.
- Prevenir o reducir el riesgo de mayores daños, sin efectuar una rehabilitación.
- Rehabilitar toda o parte de la estructura.
- Demoler y construir nuevamente.

Es necesario definir los requerimientos y expectativas en la estructura con relación a:

- Durabilidad requerida, requisitos y desempeño.
- Vida útil esperada después de la rehabilitación. Transmisión de las cargas actuantes antes, durante y después de la rehabilitación.
- Futuros trabajos de rehabilitación incluyendo acceso y mantenimiento.
- Costo-beneficio de las alternativas de las soluciones de rehabilitación.
- Posibilidad y consecuencias de fallas estructurales.
- Posibilidad y consecuencias de fallas parciales (desprendimientos de concreto, ingreso de agua, fallas de recubrimientos, etc.)
- Lucro cesante

Y al medio ambiente:

- Sol, lluvia, congelamiento, sales y otros contaminantes presentes durante la ejecución de los trabajos.
- El impacto ambiental o restricciones que generan los trabajos en el proceso, particularmente el ruido y el tiempo de ejecución.

- El impacto estético de la estructura después de la rehabilitación.

La estructuración de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo acorde con la vida útil esperada y la eficiencia pretendida tendrá en cuenta:

- ¿Cada cuanto habrá inspecciones y mantenimiento?
- ¿Cuál será la durabilidad y deterioro de los materiales escogidos para la rehabilitación: (estizamiento, eflorescencia, decoloración, fisuración, ampollamiento) y otros?
- ¿Qué sistemas y procedimientos de reparación y protección se usarán posteriormente y cuando?
- ¿Quién es el responsable y cómo será financiado?

Las edificaciones hechas con concreto casi siempre sufren daños por diversas causas, podemos decir que es casi imposible encontrar un estructura que no presente algún tipo de falla. Estos pueden ser tan pequeños que sólo bastaría una “manita” de pintura para arreglarlo o bastante grande que será necesario cambiar por completo algún elemento estructural. Existe una gran variedad de productos y sistemas disponibles para solucionar cada tipo de problema.

Es posible solucionar un problema existente con diversos tipos de métodos y materiales, el principal problema es escoger cual de ellos es el más idóneo para ese caso en particular. Encontrar la mejor solución que satisfaga tanto estructural y socio económicamente es el trabajo del ingeniero. El presente trabajo ofrece una amplia gama a problemas frecuentes en estructuras de concreto y su posible solución, sólo la experiencia hará encontrar el más conveniente.

La reparación de estructuras de concreto es un campo bastante grande de trabajo para el ingeniero. En México existen muchas empresas dedicadas exclusivamente a este campo, desgraciadamente hay quienes venden soluciones que se pretende el propietario sea quien realice el trabajo, con la consecuencia de lograr un trabajo mal ejecutado, que soluciona el problema momentáneamente pudiendo surgir nuevamente pero causando daños más severos. Es por ello que se requiere tener el conocimiento de las causas que originaron la falla, conocer el comportamiento del fenómeno para atacarlo desde su raíz y así realizar la reparación necesaria con la seguridad de que no se volverá a presentar. También es necesario establecer y crear una cultura de dar mantenimiento preventivo a todas las estructuras de concreto ya que como hemos visto será más económica que tener que repararla.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. "Especificaciones generales y técnicas de construcción". Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Num. 6-15
2. Castro López, Hugo. "Criterios para la inspección, evaluación y reparación de daños sísmicos en edificios de concreto reforzado". Tesis UNAM, ENEP Acatlán. 1995
3. Dorsch, David F. "Guía de métodos para colar materiales de reparación". Revista IMCYC. México, D. F. Num. 126. vol. XI. Noviembre de 1998. pp. 9-13, 22-33.
4. Fernández, Manuel. "Sistemas de reparación y refuerzo". Seminario: Patología de las estructuras de concreto y soluciones a problemas del cemento endurecido". IMCYC. Acapulco, México. 1991 pp. 23
5. García D. Luis. "Durabilidad, Patología y Rehabilitación de estructuras de hormigón". Conferencia magistral en concreto. IMCYC. México, D. F. 1993
6. González Cuevas, O. y F. Robles (1995). Aspectos fundamentales del concreto reforzado, Limusa, México, p. 165.
7. González Cuevas, O., J.J. Guerrero Correa, B. Gómez González, y F.A. Flores Díaz (1998), "Resistencia a fuerza cortante de columnas de concreto reforzadas con camisas de acero" / Primera etapa, XI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Monterrey, Nuevo león. vol. II, pp. 812-821.
8. Guía para reparar estructuras de concreto ACI 546R – 96. IMCYC. México 1996.

9. Helene, Paulo R. Lago. "Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto". IMCYC. México, 1997.
10. Hernández Basilio, Oscar. "Procedimientos de reparación de reparación en estructuras dañadas por sismo". Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México. 1981
11. <http://www.cemex.com>
12. <http://www.euco.com>
13. <http://www.fester.com>
14. <http://www.imcyc.com>
15. <http://www.sica.com>
16. Iglesias Jiménez, Jesús. "Reparación de estructuras de concreto y mampostería". UAM, Azcapotzalco. México, D. F. 1998
17. IMRE, Biczok. "La corrosión del hormigón y su protección". 6ª Edición. Ediciones URMO. España 1992
18. Kosmatka, Steven H. "Lechadas cementantes e inyección de lechadas". IMCYC. México 1998.
19. Manual para supervisar obras de concreto ACI 311. IMCYC, México D. F. 2001.
20. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (1996), Departamento del Distrito Federal, México.
21. Normatividad. Cemento Hidráulico. NMXC – 414 ONNCCE. Industria de la Construcción. Cementos Hidráulicos. Especificaciones y Métodos de prueba.
22. Nueva Serie IMCYC. "Durabilidad del concreto ACI – 201". Limusa. México 1980.

23. Park, R. Y T. Paulay, Reinforced concrete structures, Wiley and Sons, New Zealand. Rodríguez, M.y J.C. Botero (1994), "Aspectos del comportamiento sísmico de estructuras considerando las propiedades mecánicas de aceros de refuerzo producidos en México", IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Zacatecas, pp. 302-311
24. Pérez Caballero, Javier. "Criterio para la evaluación de daños". Revista IMCYC. México, D. F. Num. 176, vol. 23, diciembre-enero de 1986 pp. 120 – 145
25. Pérez Caballero, Javier. "Guía práctica para la evaluación estructural de edificios dañados". Revista IMCYC. México, D. F. Num. 184, vol. 24, septiembre de 1986 pp. 15 - 28
26. Pérez Uscanga, Sergio. "Diagnóstico preliminar de daños en casos de desastre". Memorias del V Congreso Nacional de Ingeniería Estructural". Veracruz, Veracruz. Abril – Mayo de 1986.
27. Rojas M. Luis Alonso. "Corrosión de las estructuras de concreto reforzado". Tesis UNAM, ENEP – Acatlán, 1998.
28. Sánchez, Ángel. "Técnicas de reparación y refuerzo en estructuras de hormigón armado y albañilerías". Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón. Santiago de Chile. 1985.
29. Seminarios Internacionales Expo Concreto 2002. "Evaluación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto". IMCYC, México D. F. 2002.
30. Ventura, Michel. "Aditivos y tratamientos de mortero y hormigón". Ed. Técnicos Asociados S. A. Barcelona, 1992.