



# Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Construcción Civil.

## “GESTIÓN DE CALIDAD: ELABORACIÓN DE PROTOCOLOS DE CALIDAD EN SISTEMAS DE REPARACIÓN DE HORMIGONES”

Tesis para optar al Título de  
Ingeniero Constructor.

Profesor Patrocinante:  
Sr. Heriberto Vivanco.  
Constructor Civil.  
Ingeniero Comercial.

Profesor Revisor:  
Sr. Adolfo Castro.  
Ingeniero Civil.  
M. Sc. Eng. Civil.

Profesor Revisor:  
Sr. José Soto Miranda.  
Ingeniero Civil.  
M. Sc. Eng. Civil.

**CARLOS RODRIGO NONQUE NONQUE**  
**VALDIVIA - CHILE**

**2006**

**Dedicado:**

**A Mi Madre Adelia del Carmen Nonque Contreras  
y a mi abuela Maria Delfina Contreras Vargas,  
por su cariño, amor y apoyo incondicional.  
A mis Hermanos Daniel, Sebastián y Francisca.**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar me gustaría agradecer a mi familia, a mi mamá delfina y a mi mamita Adelia, como así también a mis hermanos, por el gran amor de familia a pesar de la distancia y que deseo perdure eternamente en el tiempo.

También me gustaría agradecer a mis padrinos, Don Francisco Galleguillos y Doña Marcela Estay por su gran apoyo que me han brindado en varias etapas de mi vida otorgándome la oportunidad de crear un rumbo estable y para bien.

No puedo dejar a un lado los amigos los cuales guiaron mi camino hacia un buen sendero durante esta etapa universitaria: Jorge Arismendi, Marco vargas, Alejandra sobarzo, Mauricio Sepúlveda, José Fúnez.

Al igual que los anteriores, pero no menos importantes son mis amigos de infancia y del Liceo.; Diego Gutiérrez, Sebastián Fuentes, Loretto Solis, Jorge Mardones, Juan Carlos Borquez., Rodrigo Bahamonde., Reinaldo Foitzick. Ivalu Gutiérrez., Carina Bustamante., Paola Pinuer.

No puedo dejar de lado a mi primo Biaggo Cossio y a su señora que siempre brindan apoyo a mi familia cercana estando cada día al lado de mi abuela, al mismo tiempo agradecer al tío Jorge Días por recordar los consejos de mi tío Manuel Ríos.

Y por ultimo agradecer a mi tío Ramón y tía Norma por recordar los momentos vividos con mi tío Manuel., y de igual modo quiero expresar mi profunda gratitud a la familia Cid Uribe - Miranda Cid, por acogerme con cariño en su núcleo familiar junto a Carla, donde a estas alturas ya es mi familia es decir la persona que me va acompañar en las buenas y en las malas toda mi vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice.....	
Resumen.....	
<b>I. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Objetivos de la tesis.....	2
A) Objetivo General.....	2
B) Objetivos Específicos.....	2
1.3 Metodología de trabajo.....	2
<b>II. Gestión de Calidad.....</b>	<b>4</b>
2.1 Introducción.....	4
2.2 Evolución histórica del concepto calidad.....	4
2.3 Gestión de Calidad.....	6
2.3.1 Control de Calidad.....	7
2.3.2 Aseguramiento Calidad.....	7
2.3.3 Calidad Total.....	9
2.4 Importancia de los protocolos de calidad.....	10
<b>III. Características, orígenes de los daños en el hormigón y su posible control.....</b>	<b>12</b>
3.1 Introducción.....	12
3.2 Causas internas.....	12
3.3 Causas Externas.....	13
3.4 Resumen de las Causas de La Fisuración.....	14
3.4.1 Fisuración del Hormigón en estado Plástico.....	14
3.4.1.1 Fisuración por retracción Plástica.....	14
3.4.1.2 Fisuración por precipitación de los agregados.....	17
3.4.2 Fisuración del hormigón endurecido.....	18

3.4.2.1	Retracción por secado.....	18
3.4.2.2	Tensiones de origen térmico.....	21
3.4.2.3	Reacciones químicas.....	22
3.4.2.4	Meteorización.....	24
3.4.2.5	Corrosión de las armaduras.....	25
3.4.2.6	Prácticas constructivas inadecuadas.....	29
3.4.2.7	Sobrecargas mediante la construcción.....	30
3.4.2.8	Errores de diseño y detallado.....	31
3.4.2.9	Cargas aplicadas externamente.....	35
3.4.3	Características de los distintos daños en el hormigón.....	36
<b>IV.</b>	<b>Evaluación del daño.....</b>	<b>38</b>
4.1	Introducción.....	38
4.2	Ubicación y gravedad de la fisuración del hormigón.....	38
4.2.1	Observación directa e indirecta.....	39
4.2.2	Ensayos no destructivos.....	41
4.2.2.1	Métodos esclerométricos.....	41
	a) El martillo Schmidt.....	42
	b) El martillo Frank.....	42
	c) El esclerómetro Windsor.....	42
4.2.2.2	Métodos por velocidad de propagación.....	43
4.2.2.3	Métodos por resonancia.....	44
4.2.2.4	Métodos combinados o mixtos.....	45
4.2.2.5	Métodos por absorción o difusión de isótopos radiactivos.....	46
4.2.3	Ensayos en testigos de hormigón.....	46
4.2.4	Revisión de planos y datos constructivos.....	47
<b>V.</b>	<b>Diagnósticos y soluciones.....</b>	<b>48</b>
3.1	Introducción.....	48

<b>5.0.2</b>	Hormigón armado – Vigas.....	48
<b>5.0.3</b>	Hormigón armado – Nudos de vigas – Cadenas- Pilares.....	52
<b>5.0.4</b>	Hormigón armado – Losas.....	53
<b>5.0.5</b>	Hormigón armado – Columnas – Muros.....	55
<b>5.0.6....</b>	Hormigón armado – Columnas.....	57
<b>5.0.7</b>	Hormigón armado – muros de Hormigón.....	58
<b>5.0.8</b>	Hormigón armado – Columnas cortas.....	59
<b>5.0.9</b>	Sistemas para rehabilitación y refuerzos para elementos de hormigón...60	
<b>5.0.9.1</b>	Inyección de grietas.....	60
	<b>a)</b> Inyección Gravitacional.....	61
	<b>b)</b> Inyección a Presión.....	61
<b>5.0.9.2</b>	Reparación superficial.....	63
	<b>a)</b> Aplicación Manual.....	63
	<b>b)</b> Gunita: Mortero Proyectado.....	64
<b>5.0.9.3</b>	Reemplazo de hormigón.....	65
	<b>a)</b> Morteros Epóxicos.....	65
	<b>b)</b> Método Convencionales.....	67
	<b>c)</b> Hormigón Preempacado.(Hormigón con árido grueso pre-colocado)...70	
<b>5.0.9.4</b>	Colocación de refuerzos de acero.....	71
	<b>a)</b> Colocación de Armaduras Adicionales.....	71
	<b>b)</b> Colocación de anclajes con epoxi.....	73
	<b>c)</b> Refuerzo externos (betón plaqué).....	74
	<b>d)</b> Insertos Superficiales.....	77
<b>5.0.9.5</b>	Reparaciones con fibras de carbono (cfrp) y vidrio (gfrp).....	78
	<b>a)</b> Refuerzo, recuperación y reparación con fibra de carbono.....	78
	<b>b)</b> Refuerzo, recuperación y reparación con fibra de vidrio (GFRP).....	81
<b>5.0.9.6</b>	Reparaciones con ferrocemento.....	85

<b>5.0.7</b>	Hormigón armado – muros de Hormigón.....	58
<b>5.1.0</b>	Materiales para la reparación.....	86
<b>5.1.1</b>	Mortero de cemento.....	86
<b>5.1.2</b>	Mortero con polímeros.....	88
<b>5.1.3</b>	Mortero predosificados.....	89
<b>5.1.4</b>	Hormigones.....	90
<b>5.1.5</b>	Aditivos.....	92
<b>5.1.6</b>	Sistemas epóxicos.....	94
<b>VI.</b>	<b>Protocolos de calidad.....</b>	<b>97</b>
<b>6.1</b>	Introducción.....	97
<b>6.2</b>	<b>Protocolos de calidad en reparación de distintos elementos de hormigón.....</b>	<b>98</b>
<b>VII</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>105</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>116</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
<b>Cuadro 2.1</b>	Evolución histórica del concepto calidad	5
<b>Cuadro 3.1</b>	Tipos de fisuras y su posible origen	37
<b>Cuadro 5.1</b>	Hormigón armado - vigas	48
<b>Cuadro 5.2</b>	Hormigón armado - Nudos de vigas - Cadenas - Pilares.	51
<b>Cuadro 5.3</b>	Hormigón armado - Losas	53
<b>Cuadro 5.4</b>	Hormigón armado - Columnas - Muros	55
<b>Cuadro 5.5</b>	Hormigón armado - Columnas	57
<b>Cuadro 5.6</b>	Hormigón armado - Muros de hormigón	58
<b>Cuadro 5.7</b>	Hormigón armado - Columnas cortas	59
<b>Cuadro 5.8</b>	Aditivos	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
<b>Figura 3.01</b>	Típica fisuración por retracción plástica	15
<b>Figura 3.02</b>	Contracción por secado (primeros minutos)	16
<b>Figura 3.03</b>	Contracción por secado (Luego de varios minutos o primeras dos horas)	16
<b>Figura 3.04</b>	Fisuración formada debido a una precipitación obstruida.	18
<b>Figura 3.05</b>	Fisuración por asentamientos de los agregados en función del tamaño de la barra o alambre, del asentamiento del hormigón y del recubrimiento. Las	18 59
<b>Figura 3.06</b>	Fisuras Piel de cocodrilo.	20
<b>Figura 3.07</b>	Esquema simplificado del proceso de corrosión del acero en presencia de Cloruros.	26
<b>Figura 3.08</b>	Patrones de fisuración típicos en ángulos o esquinas reentrantes.	33
<b>Figura 3.09</b>	Patrón de fisuración típico en el extremo entallado de una viga bajo cargas de servicio.	33
<b>Figura 3.1</b>	Detalle tipo de estructuras dañadas.	36
<b>Figura 4.01</b>	Comparador para medir anchos de fisura.	40
<b>Figura 4.02</b>	Deformómetro.	40
<b>Figura 4.03</b>	Monitor de fisuras.	41
<b>Figura 4.04</b>	Regla para medir fisuras.	41
<b>Figura 4.05</b>	Martillo Schmidt.	42
<b>Figura 4.06</b>	Esclerómetro Windsor.	43
<b>Figura 4.07</b>	Dispositivo ultrasónico .	44
<b>Figura 4.08</b>	Comprobador de frecuencia resonante	45

<b>Figura 5.001</b>	Grietas por flexión pura	50
<b>Figura 5.002</b>	Grietas por esfuerzo de corte.	50
<b>Figura 5.003</b>	Rotura por compresión	51
<b>Figura 5.004</b>	Rotura por pandeo del alma	51
<b>Figura 5.005</b>	Rotura por deslizamiento de armaduras	51
<b>Figura 5.006</b>	Rotura en antepechos, antetechos, vigas Invertidas.	51
<b>Figura 5.007</b>	Nidos en fondos de vigas y nudos.	52
<b>Figura 5.008</b>	Fallas en encuentros entre vigas y/o cadenas.	53
<b>Figura 5.009</b>	Falla por cizalle en la unión.	53
<b>Figura 5.010</b>	Grietas por flexión.(Losas en tramos interiores).	54
<b>Figura 5.011</b>	Grietas por flexión. (Losas en volado).	55
<b>Figura 5.012</b>	Punzonamiento.	55
<b>Figura 5.013a</b>	Nidos de piedras en columnas y muros.	56
<b>Figura 5.013b</b>	Nidos de piedras en columnas y muros.	56
<b>Figura 5.014</b>	Grieta en junta de hormigonado.	57
<b>Figura 5.015</b>	Fracturas generalizadas.	58
<b>Figura 5.016</b>	Defectos (grietas) en junta de hormigonado.	59
<b>Figura 5.017</b>	Agrietamientos generalizados en muros de hormigón.	59
<b>Figura 5.018a</b>	Fallas por esfuerzos de corte en pilares cortos.	60
<b>Figura 5.018b</b>	Fallas por esfuerzos de corte en pilares cortos.	60
<b>Figura 5.019</b>	Inyección gravitacional.	61
<b>Figura 5.020</b>	Inyección a presión. (manual)	62
<b>Figura 5.021</b>	Inyección a presión. (Equipo neumático)	62
<b>Figura 5.022</b>	Inyección a presión. (Equipo Mezcla en punta).	63
<b>Figura 5.023</b>	Ejemplo de aplicación en obra.	63
<b>Figura 5.024</b>	Reparación superficial (Manual).	64
<b>Figura 5.025</b>	Reparación con mortero proyectado.	65

<b>Figura 5.026</b>	Junta defectuosa.	66
<b>Figura 5.027</b>	Corte para reemplazar hormigón.	67
<b>Figura 5.028</b>	Rellenos por parcialidades.	67
<b>Figura 5.029</b>	Rellenos con morteros fluidos.	67
<b>Figura 5.030</b>	Nido de piedra.	69
<b>Figura 5.031</b>	Tipos de cortes.	69
<b>Figura 5.032</b>	Aumentos de sección de elementos estructurales.	69
<b>Figura 5.033</b>	Aumentos de sección de elementos estructurales.	69
<b>Figura 5.034</b>	Hormigón Preempacado.	71
<b>Figura 5.035</b>	Demolición y colocación de armaduras adicionales.	72
<b>Figura 5.036</b>	Colocación de armaduras adicionales	72
<b>Figura 5.037</b>	Colocación de anclajes con epóxicos.	74
<b>Figura 5.038</b>	Colocación de anclajes con epóxicos.	74
<b>Figura 5.039</b>	Armadura convencional.	76
<b>Figura 5.040</b>	Refuerzo de platabanda.	76
<b>Figura 5.041</b>	Colocación de planchas de acero.	76
<b>Figura 5.042</b>	Colocación de armadura en pilares de hormigón.	77
<b>Figura 5.043</b>	Cadenas.	78
<b>Figura 5.044</b>	Tipos de reparación con Fibra de carbono.	80
<b>Figura 5.045</b>	Tipos de reparación con Fibra de carbono.	80
<b>Figura 5.046</b>	Tipos de reparación con Fibra de carbono.	81
<b>Figura 5.047</b>	Tipos de reparación con Fibra de carbono.	81
<b>Figura 5.048</b>	Tipos de reparación con Fibra de vidrio.	84
<b>Figura 5.049</b>	Tipos de reparación con Fibra de vidrio.	84
<b>Figura 5.050</b>	Tipos de reparación con Fibra de vidrio.	84

## ÍNDICE DE ANEXOS

		Pág.
<b>Anexo 1</b>	Fibra de carbono.	107
<b>Anexo 2</b>	Sistema SIKA CARBODUR. Esquemas de los trabajos a realizar.	110
<b>Anexo 3</b>	Fibra de vidrio.	111
<b>Anexo 4</b>	Referencia técnica de adhesivos epóxicos	113

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación se refiere principalmente a una propuesta de protocolos de calidad a un determinado sistema de reparación de distintos elementos de hormigón, donde se refiere substancialmente a los procedimientos a seguir tanto en su aplicación como en su supervisión, detallando desde un principio las causas, evaluación, diagnóstico y procedimientos a seguir ya sea en métodos de reparación y/o refuerzo de una estructura de hormigón.

Los protocolos de calidad desarrollados en esta memoria tratan principalmente de elevar los estándares de calidad de los distintos métodos a seguir en una reparación y/o refuerzo para que una estructura de hormigón pueda volver a obtener su monotelismo original o mayor, que es o fue lo requerido por el proyectista.

## **SUMMARY**

The present grade work principally alludes to a quality protocols proposal for a repair system in various concrete elements, mainly referred to the procedures in its both application and supervision, detailing the principles, evaluation, diagnosis and proceedings to follow in repair methods and/or concrete structure support.

Quality protocols developed here mainly point to raise the quality standards of the different methods to follow in repair and/or support to obtain the original or even better integrity in a concrete structure, which is a designer requirement.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1.- GENERALIDADES

A causas de distintos fenómenos, ya sean estos naturales o por fallas humanas, el hormigón durante su vida útil puede sufrir una serie de defectos que van desde microfisuras, originadas en mayor parte a partir de un mal fraguado, hasta grietas y colapsos producidos principalmente por sismos o incapacidad de carga de la estructura.

Por otro lado tras muchos años de construcción de estructuras de hormigón, se a podido observar en obras construidas con un número significativos de años que han surgido problemas de conservación importantes, así como cambio de usos de las estructuras y modificaciones en los códigos de construcción, en los que la capacidad portante de la estructura en su diseño original queda obsoleta para su funcionamiento. Por esto ha surgido la necesidad de tareas de rehabilitación, reparación y refuerzo esto a propiciado por el desarrollo de nuevas tecnologías y la aplicación de nuevos materiales para disminuir costos y tiempo dentro del campo de reparación de estructuras.

A partir de esto, y observando los distintos métodos de reparación y rehabilitación de estructuras de hormigón presentes en el mercado nacional nace la necesidad de optimizar para cada una de estas fallas los sistemas propicios de reparación, atendiendo con esto la implementación de un sistema de control de calidad para cada uno de ellos.

## **1.2.- OBJETIVOS DE LA TESIS**

### **A) OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general del presente trabajo de titulación es implementar un sistema de control de calidad a partir de una serie de protocolos, referentes a los distintos métodos existentes en el mercado chileno sobre la reparación y recuperación de los diferentes elementos de hormigón armado presentes en una estructura.

### **B) OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar fallas frecuentes en los distintos elementos de hormigón armado que conforman una estructura.
- Implementar para cada tipo de falla un sistema óptimo de reparación para la estructura afectada.
- Gestionar una serie de protocolos referentes a los sistemas de reparación.
- Contribuir al desarrollo de calidad a estos tipos de reparación, otorgándoles a las empresas, proyectistas, una base importante para la confección de especificaciones técnicas sobre reparaciones o refuerzos.

## **1.3.- METODOLOGÍA DE TRABAJO.**

El proyecto de elaboración de los protocolos de calidad en sistemas de reparación hormigones se basa principalmente en los estudios de los distintos tipos de daño estructural que son más concurrentes en la construcción de distintos elementos de hormigón, apoyándome en la literatura de distintos autores que ya han tenido experiencias en esta área, como también tesis realizadas en algunos sistemas de reparaciones de hormigones, y diferentes manuales de distintas empresas en el

mercado chileno que estén investigando, desarrollando o integrando distintos elementos para la reparación o confección de el hormigón.

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación la metodología de trabajo será dividida de la siguiente forma:

Como inicio en la primera etapa se buscará en toda bibliografía disponible el máximo de información que pueda necesitar posteriormente, y como resultado de esta recopilación, se analizara como también se organizara un programa para dar a conocer los tipos de daños que se puedan desarrollar en las estructuras de hormigón.

Luego se procederá a recopilar datos investigados para dar a conocer como se debe evaluar el tipo de daño de cada estructura de hormigón para determinar las causas que lo originan. Una vez evaluado el daño se procederá a dar un diagnostico según datos bibliográficos estudiados y comprobados científicamente, y así enseñar las distintos tipos de solución para cada tipo de estructura que se este analizando.

A continuación, se confeccionarán los procedimientos de reparación para el daño de la estructura que se estén estudiando así como también una descripción de los distintos tipos de materiales que son necesarios para una reparación que cumpla con los estándares de calidad.

Terminada la investigación se procederá a la cuantificación, comparación y evaluación de los resultados, lo que permitirá establecer y desarrollar los protocolos de calidad para cada tipo de reparación y así tener una guía en la cual los inspectores de calidad tengan la seguridad que se estará cumpliendo los requisitos para una buena reparación.

El resultado de todo este estudio servirá para proponer y verificar aplicaciones favorables para el correcto uso de las distintas aplicaciones de los productos a utilizar en cualquier tipo de reparación de los elementos de hormigón armado y así elevar los estándares de calidad en las reparaciones y/o recuperación de estos elementos.

## **CAPITULO II**

### **GESTIÓN DE CALIDAD**

#### **2.1.- INTRODUCCIÓN**

La importancia de la Calidad en las sociedades desarrolladas hace que este aspecto sea de vital importancia en las empresas del sector de la construcción. La gestión de la calidad, a través de su control y de los sistemas de calidad, es un aspecto que el ingeniero en construcción debe conocer.

Los altos índices de siniestrabilidad en las obras de construcción, y en particular en la edificación, aconsejan mentalizar a los futuros ingenieros en los aspectos de prevención de riesgos laborales.

El área de conocimiento de patología y rehabilitación de las construcciones es de suma importancia para el desarrollo formativo del profesional, debido a que las exigencias entorno al la calidad del producto entregado, hoy en día es de vital importancia para el desarrollo de la empresa y para la entera satisfacción del cliente o mandante.

Por lo tanto en este capitulo daremos a conocer algunos aspectos importantes para el conocimiento y un buen desarrollo para una buena gestión en caso de algún tipo de reparación o rehabilitación de estructuras de hormigón.

#### **2.2.- EVOLUCIÓN HISTORICA DEL CONCEPTO CALIDAD**

A lo largo de la historia el término calidad ha sufrido numerosos cambios que conviene reflejar en cuanto su evolución histórica. Para ello, describiremos cada una de las etapas el concepto que se tenía de la calidad y cuáles eran los objetivos a perseguir.

Etapa	Concepto	Finalidad
Artesanal	Hacer las cosas bien independientemente del coste o esfuerzo necesario para ello.	Satisfacer al cliente. Satisfacer al artesano, por el trabajo bien hecho Crear un producto único.
Revolución Industrial	Hacer muchas cosas no importando que sean de calidad (Se identifica Producción con Calidad).	Satisfacer una gran demanda de bienes. Obtener beneficios.
Segunda Guerra Mundial	Asegurar la eficacia del armamento sin importar el costo, con la mayor y más rápida producción (Eficacia + Plazo = Calidad)	Garantizar la disponibilidad de un armamento eficaz en la cantidad y el momento preciso.
Posguerra (Japón)	Hacer las cosas bien a la primera	Minimizar costes mediante la Calidad Satisfacer al cliente Ser competitivo
Postguerra (Resto del mundo)	Producir, cuanto más mejor	Satisfacer la gran demanda de bienes causada por la guerra
Control de Calidad	Técnicas de inspección en Producción para evitar la salida de bienes defectuosos.	Satisfacer las necesidades técnicas del producto.

Aseguramiento de la Calidad	Sistemas y Procedimientos de la organización para evitar que se produzcan bienes defectuosos.	Satisfacer al cliente. Prevenir errores. Reducir costes. Ser competitivo.
Calidad Total	Teoría de la administración empresarial centrada en la permanente satisfacción de las expectativas del cliente.	Satisfacer tanto al cliente externo como interno. Ser altamente competitivo. Mejora Continua.

(Cuadro 2.1, Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/conge/conge.shtml>)

Esta evolución nos ayuda a comprender de dónde proviene la necesidad de ofrecer una mayor calidad del producto o servicio que se proporciona al cliente y, en definitiva, a la sociedad, y cómo poco a poco se ha ido involucrando toda la organización en la consecución de este fin. La calidad no se ha convertido únicamente en uno de los requisitos esenciales del producto sino que en la actualidad es un factor estratégico clave del que dependen la mayor parte de las organizaciones, no sólo para mantener su posición en el mercado sino incluso para asegurar su supervivencia.

### **2.3.- GESTION DE CALIDAD**

Puede decirse con lo descrito anteriormente que la Gestión de la Calidad es consustancial a la actividad de la empresa. No obstante, durante muchos años se desarrolló con criterios y aplicaciones dispares y su práctica fue ocasional e intuitiva.

Es a partir de la Segunda Guerra Mundial, cuando comienza a darse a la Gestión de la Calidad el carácter de función específica y a hacerla aparecer de norma explícita en los organigramas de las Compañías.

Tomando ese momento como punto de partida para el análisis y resumiendo al máximo sus conclusiones, podemos distinguir tres etapas diferentes y sucesivas que enunciaremos así:

- Control de Calidad
- Aseguramiento de la calidad
- Calidad Total

### **2.3.1 - CONTROL DE CALIDAD**

Esta primera etapa se caracteriza por la realización de inspecciones y ensayos para comprobar si una determinada materia prima, un semielaborado o un producto terminado, cumple con las especificaciones establecidas previamente.

Se trata, sin duda, de una concepción poco competitiva de la Gestión de la calidad, ya que las inspecciones o ensayos tienen lugar "a posteriori", cuando la materia prima se ha recibido, cuando un proceso productivo ha concluido o cuando el producto final está terminado.

### **2.3.2 - ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

- El Aseguramiento de la Calidad es un sistema (la Calidad Total no lo es) y como tal, es un conjunto organizado de procedimientos bien definidos y entrelazados armónicamente, que requiere unos determinados recursos para funcionar.
- El Aseguramiento de la Calidad no sustituye al Control de Calidad (etapa anterior) sino que lo absorbe y lo complementa
- El Aseguramiento de la Calidad nace como una evolución natural del control de Calidad, que resultaba limitado y poco eficaz para prevenir la aparición de defectos. Para ello, se hizo necesario crear sistemas de calidad que incorporasen la prevención como forma de vida y que, en

todo caso, sirvieran para anticipar los errores antes de que estos se produjeran. Un Sistema de Calidad se centra en garantizar que lo que ofrece una organización cumple con las especificaciones establecidas previamente por la empresa y el cliente, asegurando una calidad continua a lo largo del tiempo. Las definiciones, según la Norma ISO, son:

- **Aseguramiento de la Calidad** :

Conjunto de acciones planificadas y sistemáticas, implementadas en el Sistema de Calidad, que son necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que un producto satisfará los requisitos dados sobre la calidad.

- **Sistema de Calidad** :

Conjunto de la estructura, responsabilidades, actividades, recursos y procedimientos de la organización de una empresa que ésta establece para llevar a cabo la gestión de su calidad.

## **LAS NORMAS ISO 9000**

Con el fin de estandarizar los Sistemas de Calidad de distintas empresas y sectores, y con algunos antecedentes en los sectores nuclear, militar y de automoción, en 1987 se publican las Normas ISO 9000, un conjunto de normas editadas y revisadas periódicamente por la Organización Internacional de Normalización (ISO) sobre el Aseguramiento de la Calidad de los procesos. De este modo, se consolida a nivel internacional el marco normativo de la gestión y control de la calidad.

Estas normas aportan las reglas básicas para desarrollar un Sistema de Calidad siendo totalmente independientes del fin de la empresa o del producto o

servicio que proporcione. Son aceptadas en todo el mundo como un lenguaje común que garantiza la calidad (continua) de todo aquello que una organización ofrece.

En los últimos años se está poniendo en evidencia que no basta con mejoras que se reduzcan, a través del concepto de Aseguramiento de la Calidad, al control de los procesos básicamente, sino que la concepción de la Calidad sigue evolucionando, hasta llegar hoy en día a la llamada Gestión de la Calidad Total. Dentro de este marco, la Norma ISO 9000 es la base en la que se asientan los nuevos Sistemas de Gestión de la Calidad.

### **2.3.3- CALIDAD TOTAL**

Las consecuencias de esta forma de plantear la calidad, afectan a toda la empresa desde sus mismos cimientos. Algunas de estas consecuencias son las siguientes:

Todas las funciones empresariales deben mejorar continuamente la calidad de su trabajo para que la empresa mantenga su eficiencia. Un proveedor poco eficiente terminará, antes o después, creando problemas a su cliente.

La política de compras basada en el enfrentamiento de muchos proveedores es un error. Es preferible tener pocos proveedores que estén integrados en los planes de la empresa.

Para lograr una participación espontánea y positiva del personal, es necesario establecer una cultura empresarial basada en un gran respeto al ser humano. Este respeto a la persona se evidencia en hechos tales como: tener en cuenta su opinión, darle formación, aceptar sus buenas ideas, etc.

La llamada Calidad Total es, por lo tanto, cualquier cosa menos un sistema. La Calidad Total es una filosofía, una cultura, una estrategia, un estilo de gerencia, No posee unos perfiles definidos que permitan acotarla. De aquí que la Calidad Total sea

entendida y aplicada de muy diferentes formas en distintas empresas y por diferentes asesores especializados.

La Calidad Total supone un nuevo e importante enriquecimiento de la Función de la Calidad en las empresas, aunque, al no ser un sistema como el aseguramiento de la Calidad y al dar lugar a la descentralización de las actividades de prevención y control, hace que los Departamentos de Calidad pierdan su relevancia y, llegado el caso, su sentido.

#### **2.4.- IMPORTANCIA DE LOS “PROTOSCOLOS DE CALIDAD”**

Debido a los altos estándares de calidad que se están logrando hoy en día en Chile y a pesar que aun falta mucho todavía para llegar a una calidad total, las exigencia van aumentando cada día que pasa debido a diferentes razones en los cuales las empresas tendrán que innovar e implementar un sistema de calidad que sea el optimo para cada una de ellas, la empresa ésta enfrentada a satisfacer un mercado cada vez más informado, extenso y especializado, lo cual hace necesario un mayor incremento de la productividad, de la competitividad y, por ende un aseguramiento de la calidad, por tal motivo se a comprobado que la capacitación como herramienta, es un pilar importante en la empresas que realmente quieren surgir, porque a través de ella se logra no sólo un aumento en la producción, sino tan bien una mejora en la entrega del producto final ,aumentando los estándares de calidad. Por lo tanto la empresa moderna debe corregir los defectos en cada trabajador, implantado a medida que los capacita un orden para cada partida en el desarrollo del producto.

Por lo descrito anteriormente es necesario para que se vaya realizando una mejora continua en la calidad es necesario que esta este respaldada por documentos donde se detallen: el proceso, el plan de control , evaluación y los resultados de las

mediciones y verificaciones con las especificaciones correspondiente a la realización del producto.

Los soporte escritos es decir los documentos que respaldan la calidad del producto a realizar se denomina “**PROTOSCOLOS DE CALIDAD**”.

Estos documentos deben realizarse en cada partida donde se encuentre el riesgo de que en el producto a realizar se encuentre en una etapa en la cual es importante controlarla para que no sufra ningún defecto o para que se asegure la calidad del siguiente procedimiento a realizar. Estos documentos son de suma importancia para un correcto control del desarrollo de los productos y su acabado final, por tal motivo estos deben de ser conservados, es decir archivados, ya que cualquier anomalía que se detecte en el producto que se este realizando o ya este acabado, pueda encontrarse donde se ejecuto mal el procedimiento, por tal motivo estos registros como datos son importantes para el aseguramiento de la calidad y además pueden servir como datos estadísticos para futuros estudios de prevención o mejora en los procesos.

En los siguientes capítulos daremos a conocer las causas, evaluación, diagnósticos, y procedimientos a seguir en los distintos métodos de reparación y/o refuerzos de hormigones detallándolas en forma general y específica, y así al final lograr un conjunto de aplicaciones para elevar los estándares de calidad cuando se necesite ejecutar en obra algunos de los procedimientos que se indicaran posteriormente.

## **CAPITULO III**

# **CARACTERÍSTICAS, ORÍGENES DE LOS DAÑOS EN EL HORMIGÓN Y SU POSIBLE CONTROL**

### **3.1.- INTRODUCCIÓN**

Teniendo una definición clara de la problemática a tratar en la presente investigación, hay que dejar en claro que durante la vida útil de las estructuras de hormigón armado pueden resultar expuestas a cargas mecánicas, como así también a agentes agresivos químicos o térmicos que produzcan la degradación de sus propiedades mecánicas dando a lugar a diferentes factores que pueden afectar la vida útil de cualquier obra de hormigón, enumerando algunas condicionantes estas pueden depender tanto de la acción del entorno o medio ambiente, como las propiedades intrínsecas en el hormigón.

El diseño de la obra, su interrelación con el suelo, el diseño de los elementos constructivos y su posterior elaboración es decir su ejecución con la adecuada selección de los materiales componentes y colocación en obra, como también su uso, juegan también un rol importantísimo en los daños que pueda tener los diferentes elementos de hormigón armado.

### **3.2.- CAUSAS INTERNAS**

Se definen como causas internas aquellas que se relacionan con cambios volumétricos que ocurren dentro del hormigón. La reacción química del cemento con el agua, conocida como hidratación, genera distintas reacciones químicas que pueden llegar a producir daños severos al hormigón por el efecto de aumentos de volumen. Esta misma reacción química genera un fuerte aumento en la temperatura

del hormigón, el cual, al comenzar a enfriarse puede producir grietas de consideración. La eventual reacción de álcalis libres con áridos de alto contenido de sílice es iniciadora de una reacción incontrolable que también induce a un aumento interno de tensiones. La pérdida del agua de mezclado produce cambios físicos conocidos como retracción de secado, pudiendo iniciarse desde muy temprana edad. En este caso se producen fisuras superficiales. Si se generan con el tiempo, las fisuras pueden alcanzar todo el grosor del elemento.

### **3.3.- CAUSAS EXTERNAS**

Otras causas actúan externamente sobre la estructura. Las más típicas se refieren a las acciones de las cargas, ya sean estáticas o dinámicas, la acción del fuego, terremotos, temperatura y viento extremo, asentamientos diferenciales, etc. Éstas inciden con tensiones de toda índole sobre el elemento, bastando que se sobrepasen las respectivas resistencias características del hormigón para que ocurra un daño. Sobre la superficie del hormigón existe, debido al uso, un desgaste mecánico, abrasión e impacto.

Y actuando sobre el recubrimiento del hormigón se encuentran una serie de agentes nocivos, como el CO<sub>2</sub> - carbonatación, cloruros – sales descongelantes, aguas con sulfatos, ciclos hielo / deshielo, y otros líquidos y gases agresivos. Este último tipo de causales puede llevar a la oxidación de la armadura, iniciando un nuevo tipo de daño con aparición de grietas y desprendimientos.

Fallas constructivas también fomentan la generación de daños, como el hecho de excesos de vibrado - segregación, mala colocación de mallas - inducción de grietas sobre la superficie, desplazamiento de moldajes y cimbrado y exceso del uso de la llana en terminaciones superficiales. En resumen, durante la vida útil del hormigón es “normal” la aparición de fisuras, las cuales pueden y deben ser reparadas, de

acuerdo al uso que tenga la respectiva estructura. Sobre este tipo de reparación de fisuras trata este trabajo de titulación.

### **3.4.- RESUMEN DE LAS CAUSAS DE LA FISURACIÓN**

#### **3.4.1. – FISURACIÓN DEL HORMIGON EN ESTADO PLÁSTICO**

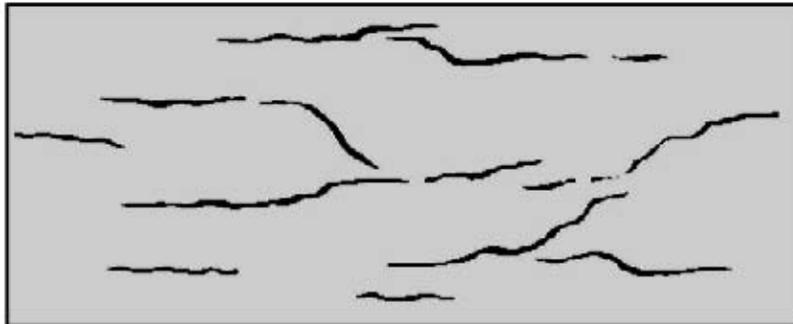
##### **3.4.1.1.- FISURACIÓN POR RETRACCIÓN PLÁSTICA**

La fisuración por retracción plástica (Figura 3.01) ocurre cuando la velocidad de evaporación de la humedad en la superficie excede a la de ascensión del agua de exudación que la podía reemplazar y por lo tanto la superficie se seca. Cuando el agua de exudación se evapora y su nivel desciende por debajo de la superficie del hormigón, los meniscos que aparecen entre las partículas finas de cemento y los áridos, causan unas fuerzas de tensión en las capas superficiales. Si la superficie del hormigón ya ha empezado a fraguar y ha desarrollado una resistencia suficiente, las fisuras no aparecerán. Sin embargo, si la superficie se seca antes de que se haya desarrollado la resistencia suficiente, las fuerzas de las capas superficiales excederán de la resistencia a la tensión y las fisuras aparecerán durante el proceso de fraguado. Si el secado de la superficie se produce muy rápidamente, el hormigón continuará siendo plástico y las fisuras no se producirán en ese momento, pero estas aparecerán sin duda tan pronto como el hormigón se haya endurecido un poco más.

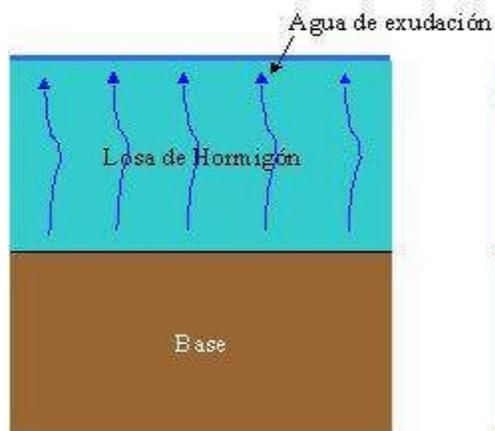
Debido a la restricción proporcionada por el hormigón debajo de la capa superficial que se seca, en el hormigón débil, plástico y en proceso de rigidización se desarrollan tensiones de tracción que provocan fisuras poco profundas pero de profundidad variable, que pueden formar un patrón poligonal aleatorio, o bien pueden aparecer básicamente paralelas unas a otras. Estas fisuras a menudo son bastante anchas en la superficie. Su longitud varía entre pocos milímetros y más de un metro,

y su separación puede ser de pocos milímetros o de hasta 3 m. Las fisuras por retracción plástica comienzan como fisuras de poca profundidad, pero pueden convertirse en fisuras cuya profundidad abarque la totalidad de la altura del elemento.

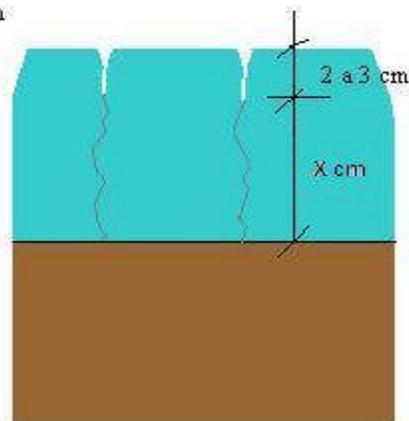
Como la fisuración por retracción plástica se debe a un cambio diferencial de volumen del hormigón, las medidas de control para ser exitosas, requieren reducir el cambio diferencial de volumen entre la superficie y otras partes del hormigón. Para impedir la rápida pérdida de humedad provocada por el tiempo caluroso y los vientos secos se pueden adoptar varias medidas, las cuales pueden ser el uso de boquillas de niebla para saturar el aire en contacto con las superficies, y el uso de láminas plásticas para cubrir las superficies entre operaciones de acabado. También resultan útiles los rompevientos que reducen la velocidad del viento y los parasoles que reducen la temperatura superficial. Otra práctica recomendable es programar la construcción de losas y pavimentos para después que estén contruidos los rompevientos.



*Fig.3.01 Típica fisuración por retracción plástica (Price, 1982)*



*Fig.3.02 Primeros Minutos*



*Fig. 3.03 Luego de varios minutos o primera dos horas.*

Las fisuras de contracción por secado se generan en el estado fresco del hormigón (generalmente antes de las 2 primeras horas desde su colocación). En esta etapa, el constructor debe evitar que el hormigón pierda humedad superficial. Si bien existen otras formas de mantener la humedad superficial del hormigón, uno de los métodos más prácticos resulta de colocar una arpillera húmeda inmediatamente después de terminada la superficie. De esta manera, no solamente se evitará una rápida contracción superficial del hormigón, sino que se ganará tiempo hasta que desaparezca el agua de exudación de la superficie del hormigón y se pueda colocar una membrana química de curado eficiente.

Dentro de las primeras 2 horas de edad (Fig.3.02 y Fig3.03), la contracción superficial del hormigón está restringida por el resto del hormigón que aún se mantiene estable dimensionalmente. Esta restricción genera tensiones de tracción que el hormigón no puede soportar ya que está en estado fresco y se fisura.

Otras técnicas (complementarias en muchos casos) que permiten evitar la formación de fisuras por retracción plástica. Por ejemplo, adicionalmente a lo mencionado, se puede colocar una "cama" de arena de unos 5 cm por debajo de la losa de hormigón, de manera de manera de inducir que algo de agua se "pierda" por

debajo y así se minimiza la contracción diferencial que se produce entre la superficie y el resto de la masa del hormigón.

#### **3.4.1.2.- FISURACIÓN POR PRECIPITACIÓN DE LOS AGREGADOS**

Las fisuras por precipitación o asentamientos de los agregados se desarrolla mientras el hormigón esta en estado plástico, luego de su consolidación inicial. Las fisuras por precipitación de los agregados son el resultado natural de la precipitación de los sólidos en un medio líquido. Las fisuras por precipitación ocurren a lo largo de elementos rigidamente soportados, tales como armaduras horizontales o varillas de tensión. A veces el hormigón se adhiere a los encofrados. En estas ubicaciones aparecerá una fisura si los encofrados están calientes en la parte superior o son parcialmente absorbentes. A menudo aparecen fisuras en las juntas de construcción horizontales y en las losas de tableros de puentes encima de armaduras o varillas de tensión que tienen apenas unas pocas pulgadas de recubrimiento (alrededor de 75 a 125 mm [3 a 5 in.]). Se pueden reducir las fisuras por precipitación en los tableros de los puentes aumentando el recubrimiento de hormigón y dosificando la mezcla de manera de minimizar la exudación y la precipitación de los agregados.

También durante el período plástico del hormigón puede estar restringido por las armaduras, por una colada previa de hormigón o por los encofrados. Estas restricciones localizadas pueden provocar vacíos y/o fisuras adyacentes al elemento que impone la restricción (Figura 3.04). Si está relacionado con las armaduras, la fisuración por asentamiento de los agregados aumenta a medida que aumenta el tamaño de las barras, que aumenta el asentamiento del hormigón y disminuye el recubrimiento (Dakhil et al., 1975). Esto se ilustra en la Figura 3.05 para un rango limitado de las variables. El grado de fisuración por asentamiento se puede intensificar si el vibrado es insuficiente o si se emplean encofrados muy flexibles o con pérdidas.

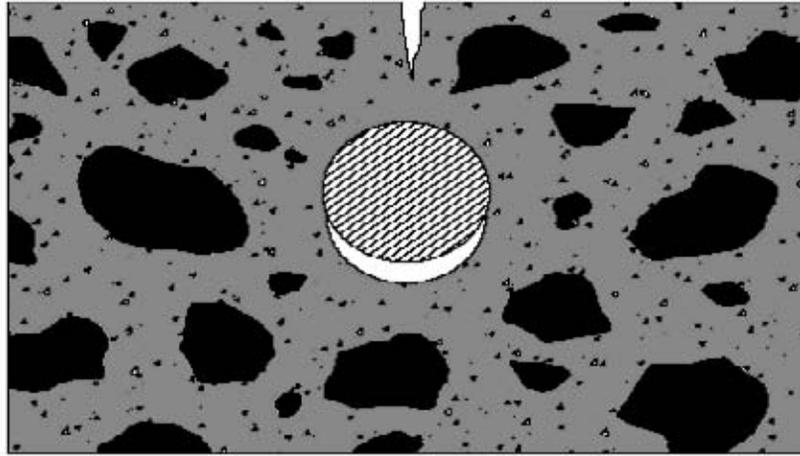


Fig.3.04 fisura formada debido a una precipitación obstruida (Price 1982)

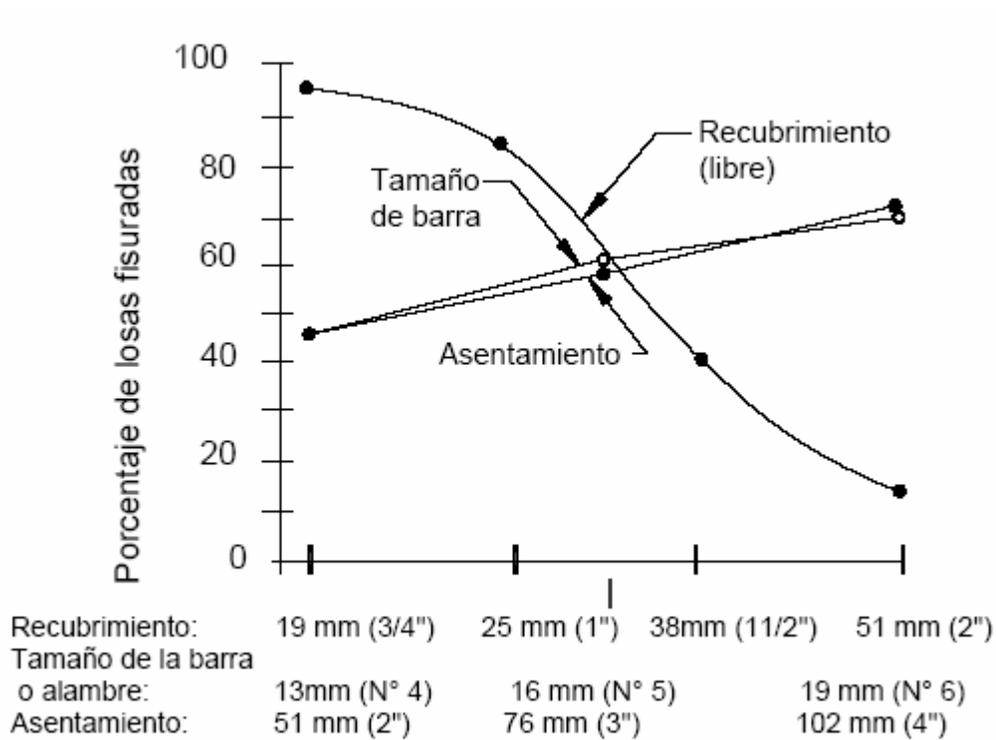


Fig. 3.05 Fisuración por asentamientos de los agregados en función del tamaño de la barra o alambre, del asentamiento del hormigón y del recubrimiento (Dakhil et al., 1975).

### 3.4.2. – FISURACIÓN DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

#### 3.4.2.1.- RETRACCIÓN POR SECADO

Una causa habitual de la fisuración del hormigón es la restricción de la retracción por secado. La retracción por secado es provocada por la pérdida de humedad de la pasta cementicia, la cual se puede contraer hasta un 1%. Por fortuna,

los agregados proveen una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a aproximadamente 0,06%. Cuando se humedece el hormigón tiende a expandirse.

Estos cambios de volumen inducidos por los cambios de humedad son una característica propia del hormigón. Si la retracción del hormigón se produjera de manera no restringida el hormigón no se fisuraría. Es la combinación de la retracción y la restricción (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura o por la subrasante) lo que provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Cuando se supera la resistencia a la tracción del hormigón éste se fisura. Las fisuras se pueden propagar a tensiones mucho menores que las requeridas para provocar el inicio de la fisuración.

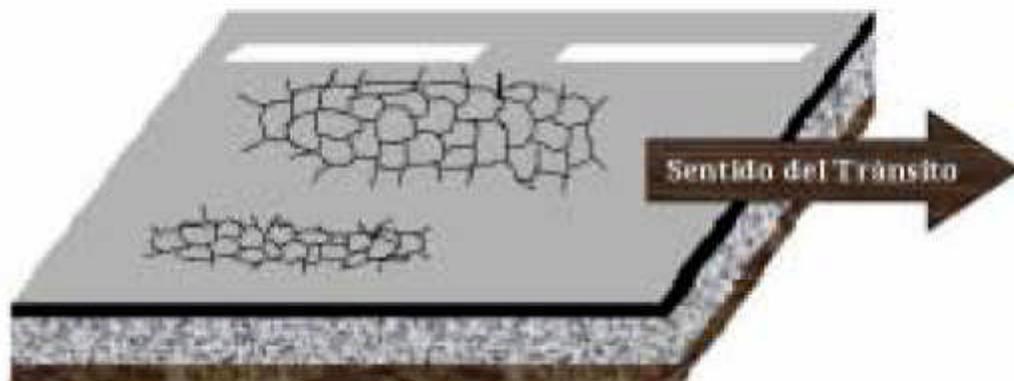
En los elementos de hormigón masivo hay tensiones de tracción provocadas por la retracción diferencial entre el hormigón de la superficie y el hormigón del interior de la masa. La mayor retracción de la superficie provoca el desarrollo de fisuras, que con el tiempo pueden penetrar más profundamente hacia el interior del hormigón.

La magnitud de las tensiones de tracción inducidas por los cambios de volumen está influenciada por una combinación de diferentes factores, incluyendo la magnitud de la retracción, el grado de restricción, el módulo de elasticidad y la magnitud de la fluencia lenta. La magnitud de la retracción por secado depende principalmente de la cantidad y tipo de agregados y del contenido de agua de la mezcla. Cuanto mayor sea la cantidad de agregados, menor será la retracción (Pickett, 1956). Cuanto más rígido sea el agregado, más efectivo será para reducir la retracción del hormigón (por ejemplo, la retracción de un hormigón que contiene arenisca puede ser más del doble que la de un hormigón que contiene granito, basalto o caliza (Carlson, 1938)). Cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la retracción por secado.

La fisuración superficial irregular en muros y losas (piel de cocodrilo, Fig.3.06) constituye un ejemplo de retracción por secado a pequeña escala. Generalmente hay fisuración irregular cuando la capa superficial tiene mayor contenido de humedad que el interior del hormigón. El resultado es una serie de fisuras finas y poco profundas, con poca separación.

La retracción por secado se puede reducir aumentando la cantidad de agregado y reduciendo el contenido de agua. Un procedimiento que ayudará a reducir la fisuración por asentamiento de los agregados, como así también la retracción por secado de muros, consiste en reducir el contenido de agua del hormigón a medida que se cuele el muro, desde la parte inferior a la parte superior. Usando este procedimiento, el agua de exudación de las partes inferiores del muro tenderá a igualar el contenido de agua dentro del muro. Para que este procedimiento sea exitoso es fundamental controlar el hormigón cuidadosamente y compactarlo de manera adecuada.

La fisuración por retracción se puede controlar utilizando juntas de contracción y un adecuado detallado de las armaduras. La fisuración por retracción también se puede reducir utilizando cemento compensador de la retracción. Reducir o eliminar la restricción bajo una losa también puede ser una medida efectiva para reducir la fisuración por retracción de losas de cimentación.



*Fig.3.06 Las fisuras Piel de cocodrilo se miden en metros cuadrados de superficie afectada.*

### 3.4.2.2.- TENSIONES DE ORIGEN TÉRMICO

Las diferencias de temperatura dentro de una estructura de hormigón pueden ser provocadas por partes de la estructura que pierden calor de hidratación a diferentes velocidades, o por condiciones climáticas que enfrían o calientan una parte de la estructura hasta una mayor temperatura o con una mayor velocidad que otra. Estas diferencias de temperatura ocasionan cambios diferenciales de volumen. Si las tensiones de tracción provocadas por los cambios diferenciales de volumen superan la capacidad de deformación por tracción del hormigón, éste se fisurará. Los diferenciales de temperatura provocados por diferentes tasas de disipación del calor de hidratación del cemento normalmente sólo afectan al hormigón masivo (que puede incluir columnas, estribos, vigas y zapatas, además represas), mientras que los diferenciales de temperatura provocados por cambios de la temperatura ambiente pueden afectar a cualquier estructura.

La fisuración del hormigón masivo se puede deber a una temperatura en la superficie de la masa mayor que la temperatura en el interior de la misma. El gradiente de temperatura puede ocurrir ya sea porque la parte central del hormigón se calienta más que la parte exterior por el calor liberado durante el proceso de hidratación del cemento, o bien por un enfriamiento más rápido del exterior respecto del interior del hormigón. En ambos casos se originan tensiones de tracción en el exterior y, si estas tensiones superan la resistencia a la tracción, habrá fisuración. Las tensiones de tracción son proporcionales al diferencial de temperatura, el coeficiente de expansión térmica, el módulo de elasticidad efectivo (reducido por la fluencia lenta) y el grado de restricción (Dusinberre, 1945; Houghton, 1972, 1976). Cuanto más masiva sea la estructura, mayor será su potencial de generar gradientes térmicos y fisurarse.

Los procedimientos para reducir la fisuración de origen térmico incluyen reducir la máxima temperatura interna, demorar el inicio del enfriamiento, controlar la

velocidad a la cual se enfría el hormigón y aumentar la resistencia a la tracción del hormigón.

### **3.4.2.3.- REACCIONES QUÍMICAS**

Algunas reacciones químicas pueden provocar la fisuración del hormigón. Estas reacciones pueden ser producto de los materiales utilizados para preparar el hormigón, o de los materiales que están en contacto con el hormigón una vez endurecidos.

A continuación presentamos algunos conceptos útiles para reducir las reacciones químicas adversas, pero sólo el ensayo previo de las mezclas a utilizar o una gran experiencia en obra pueden determinar la eficacia de una medida en particular.

Con el tiempo el hormigón se puede fisurar como resultado de reacciones expansivas de desarrollo lento producidas entre los agregados que contienen sílice activa y los álcalis derivados de la hidratación del cemento, aditivos o fuentes externas (por ejemplo, el agua usada para el curado, el agua freática, las soluciones alcalinas almacenadas o empleadas en la estructura terminada).

La reacción álcali-sílice provoca la formación de un gel expansivo que tiende a extraer agua de otras partes del hormigón. Esto provoca expansiones locales junto con las correspondientes tensiones de tracción, y eventualmente puede provocar el deterioro total de la estructura. Las medidas de control incluyen la correcta elección de los agregados, el uso de cementos con bajo contenido de álcalis y el uso de puzolanas, las cuales a su vez contienen sílices muy finas y altamente activas. La primera medida puede impedir que ocurra el problema, mientras que las dos últimas tienden a reducir la relación entre álcalis y sílice reactiva, provocando la formación de un silicato de calcio alcalino no expansivo.

Por otro lado las aguas sulfatadas representan un problema para el hormigón desde el punto de vista de su durabilidad. Los sulfatos que penetran en la pasta cementicia hidratada entran en contacto con el aluminato de calcio hidratado. Se forma un sulfoaluminato de calcio, con el consiguiente aumento de volumen, que provoca elevadas tensiones de tracción localizadas, que a su vez provocan el desarrollo de fisuras poco separadas y un deterioro generalizado del hormigón. Los cementos Pórtland de bajo contenido de aluminato tricálcico, pueden reducir la gravedad del problema.

En algunos casos extremos y luego de realizar los ensayos correspondientes, se podrían usar puzolanas que son conocidas por impartir una resistencia adicional contra el ataque de los sulfatos, obviamente luego de realizar los ensayos correspondientes. También pueden surgir condiciones perjudiciales como resultado de la aplicación de sales descongelantes sobre una superficie de hormigón endurecido. El hormigón expuesto a sales solubles en agua debería tener un elevado contenido de aire incorporado, tener un adecuado recubrimiento de las armaduras y ser hormigón de alta calidad y baja permeabilidad.

El hidróxido de calcio de la pasta cementicia hidratada se combinará con el dióxido de carbono del aire para formar carbonato de calcio. Debido a que el carbonato de calcio tiene menor volumen que el hidróxido de calcio, habrá retracción (habitualmente conocida como retracción por carbonatación). Esta situación puede provocar un importante grado de fisuración irregular en las superficies de hormigón, y puede ser particularmente grave en el caso de superficies frescas recién colocadas durante las primeras 24 horas si se usan calentadores sin ventilación adecuada para mantener el hormigón tibio durante los meses invernales.

#### **3.4.2.4.- METEORIZACIÓN**

En el Momento en que el hormigón se encuentra a la temperatura de congelación, el agua contenida en los poros capilares de la pasta y de los áridos se congela, aumentando su volumen en un 9% produciendo una rotura inicialmente pequeña y superficial con los sucesivos ciclos de hielo y deshielo , estas fisuras se llenaran de agua que al congelarse ocupara un creciente mayor volumen. Produciendo un efecto acumulativo que ira destruyendo cada vez mas al hormigón.

A lo descrito anteriormente es uno mas de los procesos de meteorización que pueden provocar fisuración, también en este proceso se incluyen el humedecimiento, secado, calentamiento y enfriamiento. En general la fisuración provocada por los procesos naturales de meteorización es conspicua, y puede dar la impresión de que el hormigón está a punto de desintegrarse, aún cuando el deterioro no haya progresado mucho debajo de la superficie.

Los daños provocados por los ciclos de congelamiento y deshielo representan el deterioro físico más habitual relacionado con las condiciones meteorológicas. Tanto el congelamiento del agua de la pasta como el congelamiento del agua en los agregados, o ambos fenómenos, pueden dañar el hormigón (Powers, 1975).

Los daños en el hormigón endurecido provocados por el congelamiento se deben al movimiento del agua hacia los sitios de congelamiento y a la presión hidráulica generada por el crecimiento de cristales de hielo (Powers, 1975).

Las partículas de agregado están rodeadas por pasta cementicia que impide que el agua escape rápidamente. Cuando las partículas de agregado están por encima de un grado crítico de saturación, la expansión del agua absorbida durante el congelamiento puede fisurar la pasta cementicia circundante o dañar el propio agregado (Callan, 1952; Snowdon y Edwards, 1962).

La mejor manera de proteger al hormigón contra el congelamiento y deshielo consiste en utilizar la menor relación agua-cemento y cantidad total de agua posibles,

utilizar agregados durables e incorporar aire adecuadamente. También es importante el curado previo a la exposición a condiciones de congelamiento. Permitir que la estructura se seque luego del curado mejorará su durabilidad con respecto al congelamiento y deshielo.

Otros procesos de meteorización que pueden provocar la fisuración del hormigón son los ciclos de humedecimiento y secado y calentamiento y enfriamiento. Ambos procesos generan cambios de volumen que pueden provocar fisuración. Si los cambios de volumen son excesivos habrá fisuración.

#### **3.4.2.5.- CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS**

La corrosión de las armaduras tiene un doble efecto contra la durabilidad del hormigón: el primero es precisamente la corrosión de las armaduras, que pueden llegar a disminuir su diámetro, e incluso hacerlas desaparecer; el segundo efecto se produce debido a que el óxido que se forma genera un aumento de volumen de 2.2 veces el volumen original, dando origen a grietas y rompiendo el recubrimiento de hormigón debido a la sobrepresión que produce.

La corrosión de un metal es un proceso electroquímico que requiere un agente oxidante, humedad y flujo de electrones dentro del metal; se producen una serie de reacciones químicas en la superficie del metal y cerca de la misma.

*La corrosión de las armaduras* de hormigón armado se originan por la presencia exclusiva de oxígeno y humedad (aire húmedo) en las proximidades de la barra, pero la existencia de cloruros libres (Cl<sup>-</sup>) en el medio que las rodea es un desencadenante del proceso. Por tal motivo resulta conveniente la limitación del contenido inicial de Cl<sup>-</sup> en el hormigón endurecido, como así también en el conocimiento de las variables que afectan su ingreso.

Los procesos de corrosión afectan la estética y en los casos extremos la estabilidad de las estructuras. Los perjuicios de índole económicos vinculados con los citados procesos son de significativa importancia.

En los últimos años se han intensificado los estudios e investigaciones tendiendo al diseño de técnicas que permitan revelar la presencia de  $\text{Cl}^-$  en el hormigón endurecido como así también conocer las variables, dependientes de las características intrínsecas del hormigón, que facilitan o atenúan su ingreso.

Cuando la cantidad de  $\text{Cl}^-$  en la pasta cementícea adyacente a las barras de acero, supera un cierto valor denominado '*umbral crítico*', la película pasivante que se formó sobre la superficie del metal, se altera. Esta alteración o rotura localizada origina una celda galvánica, en la cual el área atacada actúa como ánodo, iniciándose el proceso de corrosión (figura 3.07).

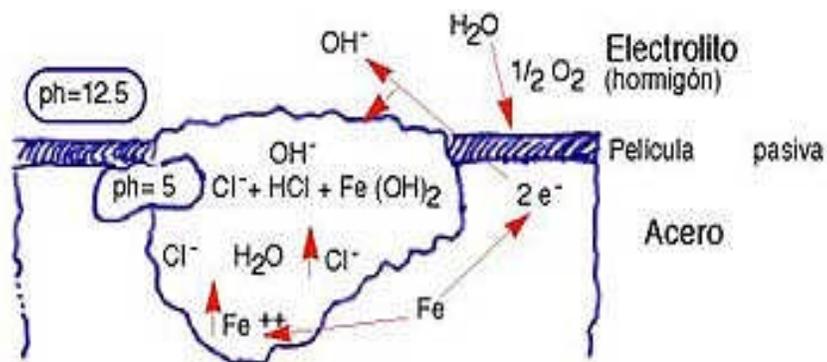


Fig. 3.07 Esquema simplificado del proceso de corrosión del acero en presencia de Cloruros. (propuesto por CEB – FIP).

El cloro, en estado iónico activo, actúa como despasivante del acero, mientras que el combinado o inmovilizado por los constituyentes del cemento hidratado, particularmente por los aluminatos con los cuales forma complejos de cloroaluminatos, resulta inactivo en los procesos de corrosión.

El primer síntoma visible de la corrosión sobre la superficie del hormigón es la aparición de fisuras paralelas a las armaduras, acompañadas de manchas de color

rojizo. En casos extremos, se observan desprendimientos del hormigón de recubrimiento y una disminución de la sección útil de la barra.

La clave para proteger un metal contra la corrosión es detener o invertir las reacciones químicas. Esto se puede lograr cortando los suministros de oxígeno o humedad, o proveyendo un exceso de electrones en los ánodos para impedir la formación de los iones metálicos (protección catódica).

El acero de las armaduras del hormigón generalmente no se corroe ya que en el ambiente altamente alcalino se forma un recubrimiento de óxido protector, fuertemente adherido al acero. Esto se conoce como protección pasiva.

Sin embargo, el acero de las armaduras se puede corroer si la alcalinidad del hormigón se reduce por carbonatación o si la pasividad de este acero es destruida por iones agresivos (generalmente cloruros). La corrosión del acero produce óxidos e hidróxidos de hierro, cuyo volumen es mucho mayor que el del hierro metálico original (Verbeck, 1975). Este aumento de volumen provoca tensiones radiales de estallido alrededor de las barras de armadura, y la consiguiente aparición de fisuras radiales localizadas. Estas fisuras radiales se pueden propagar a lo largo de la barra, provocando la formación de fisuras longitudinales (es decir, paralelas a la barra) o provocando el descascaramiento del hormigón. También se puede formar una fisura ancha en un plano de barras paralelas a una superficie de hormigón y esto puede llevar a la fisuración laminar (en láminas), próxima a la superficie problema bien conocido en el caso de tableros de puentes.

Las fisuras permiten que el oxígeno, la humedad y los cloruros ingresen fácilmente; por lo tanto, las pequeñas fisuras radiales pueden crear una condición que acelerará la corrosión y la fisuración.

Las fisuras transversales a las armaduras generalmente no causan un proceso continuo de corrosión de las armaduras, siempre que el hormigón tenga baja permeabilidad. Esto se debe a que la porción expuesta de una barra en una fisura

actúa como un ánodo. A edades tempranas, cuanto más ancha sea la fisura mayor será la corrosión, simplemente porque una parte más extensa de la barra ha perdido su protección pasiva. Sin embargo, para que haya un proceso continuo de corrosión, debe haber oxígeno y humedad disponible en otras partes de la misma barra o en barras eléctricamente conectadas por contacto directo o por medio de herrajes tales como los soportes de las armaduras. Si la combinación de densidad y espesor de recubrimiento de hormigón restringe adecuadamente el flujo de oxígeno y humedad, se dice que el proceso de corrosión es autocurante.

Si se forma una fisura longitudinal paralela a la armadura, la corrosión puede continuar, ya que se pierde la pasividad en muchos puntos y hay oxígeno y humedad fácilmente disponibles a lo largo de toda la longitud de la fisura.

Otras causas de fisuración longitudinal, como por ejemplo la presencia de elevadas tensiones de adherencia, tracción transversal (por ejemplo a lo largo de estribos o a lo largo de losas traccionadas en dos direcciones), retracción y asentamiento, pueden iniciar la corrosión.

En general, para las construcciones de hormigón la mejor protección contra los daños inducidos por la corrosión es usar hormigón de baja permeabilidad y un recubrimiento de hormigón adecuado. Aumentar el espesor del recubrimiento de hormigón sobre las armaduras resulta efectivo para demorar el proceso de corrosión y también para resistir las hendiduras y descascaramientos provocados por la corrosión o las tracciones transversales (Gergely, 1981; Beeby, 1983). En el caso de barras de gran diámetro y recubrimientos de gran espesor, puede ser necesario agregar pequeñas armaduras transversales (manteniendo los requisitos sobre recubrimiento mínimo) para limitar las hendiduras y para reducir el ancho de las fisuras superficiales (ACI 345R).

#### **3.4.2.6.- PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS INADECUADAS**

Existe una gran variedad de prácticas constructivas inadecuadas cuyo resultado puede ser la fisuración del hormigón. Entre ellas la más habitual es la costumbre de agregarle agua al hormigón para mejorar su trabajabilidad. El agua agregada reduce la resistencia, aumenta el asentamiento y aumenta la retracción por secado. Si esta práctica se combina con el uso de un mayor contenido de cemento para contrarrestar la reducción de la resistencia, el aumento del contenido de agua significará un aumento del diferencial de temperatura entre el interior y el exterior de la estructura, cuyo resultado será un aumento de las tensiones térmicas y posiblemente, fisuración. Si se agrega cemento, aún manteniendo constante la relación agua-cemento, habrá más retracción porque aumentará el volumen relativo de pasta.

La falta de curado aumentará el grado de fisuración de una estructura de hormigón. Terminar el curado antes de tiempo permitirá mayor retracción en un momento en el cual el hormigón aún tiene baja resistencia. La falta de hidratación del cemento, debida al secado, resultará no sólo en una disminución de la resistencia a largo plazo sino también en una reducción de la durabilidad de la estructura.

Otros problemas constructivos que pueden provocar fisuración son el uso de apoyos inadecuados para los encofrados, una compactación inadecuada y la colocación de juntas de contracción en puntos de tensión elevada. La falta de apoyo para los encofrados o la compactación inadecuada pueden provocar el asentamiento y la fisuración del hormigón antes que éste haya desarrollado resistencia suficiente para soportar su propio peso, mientras que la incorrecta ubicación de las juntas de construcción puede provocar la abertura de las juntas en los puntos de tensión elevada.

### **3.4.2.7.-SOBRECARGAS MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN**

A menudo las cargas inducidas durante la construcción pueden ser mucho más severas que las que soportarán las estructuras en servicio. Desafortunadamente, estas condiciones se pueden dar a edades tempranas cuando el hormigón es más susceptible de ser dañado y con frecuencia originan fisuras permanentes.

Los elementos premoldeados, tales como vigas y paneles, son los más expuestos a este tipo de abuso, pero el hormigón colado in situ no está exento de ser afectado. Un error común es no apoyar correctamente los elementos premoldeados durante su transporte y montaje. El uso de puntos de elevación arbitrarios o simplemente convenientes puede provocar daños severos. Los ganchos y pasadores usados para levantar estos elementos deben ser detallados o aprobados por el diseñador. Si no es posible utilizar ganchos o pasadores, se debe proveer acceso al fondo del elemento de manera de poder usar correas.

Los operarios de los equipos elevadores deben ser cuidadosos y saber que es posible provocar daños aún cuando se utilicen los accesorios adecuados. Si una viga o panel de grandes dimensiones se baja demasiado rápido y el descenso se detiene demasiado bruscamente, habrá una carga de impacto cuya magnitud puede ser varias veces mayor que el peso propio del elemento. Otro error habitual que se debe evitar es hacer palanca sobre una esquina de un panel para levantarlo o "aflojarlo".

Al considerar cómo se apoyará un elemento para su transporte, el diseñador debe ser conciente de las cargas que se pueden inducir durante el traslado. Algunos ejemplos de situaciones que ocurren durante el transporte de elementos premoldeados de grandes dimensiones por medio de camiones con acoplado son el pasar sobre cordones pronunciados o pisar el cordón de las aceras en curvas cerradas, la torsión debida al peralte de los caminos que es diferente para el camión y para el acoplado, y la aceleración diferencial del acoplado respecto del camión.

Las vigas pretensadas pueden presentar problemas de fisuración particulares en el momento de relajar la tensión – generalmente cuando las vigas tienen menos de un día de edad. Si hay múltiples cables, éstos se deben relajar siguiendo una secuencia determinada, de manera de no someter el elemento a cargas excéntricas inaceptables. Si se relajan todos los cables de un lado de la viga mientras los cables del otro lado permanecen tensionados, puede haber fisuración del lado de los cables no relajados. Estas fisuras son indeseables, pero es probable que se cierren cuando se relajen los cables restantes.

En las vigas T que tienen una de sus alas altamente reforzada y la otra delgada y altamente pretensada, se pueden desarrollar fisuras en las uniones entre el alma y las alas.

Otra práctica que puede provocar fisuración cerca de los extremos de las vigas es soldar por puntos las placas de apoyo al banco de colado para mantenerlas en su lugar durante la colocación del hormigón. Con frecuencia los puntos de soldadura no se rompen hasta que durante la aplicación de la fuerza de pretensado se induce una tensión suficiente para romperlos. Hasta ese momento el fondo de la viga está restringido, mientras que el resto de la viga está en compresión. Si las soldaduras son demasiado fuertes se formarán fisuras cerca de las placas de apoyo.

En climas fríos el hormigón colado in situ puede ser sometido involuntariamente a cargas constructivas, si se emplean calentadores para lograr una temperatura de trabajo elevada dentro de una estructura. Típicamente se utilizan cubiertas de lona para cubrir las aberturas para puertas y ventanas, y dentro del área cerrada se disponen potentes calentadores. Si los calentadores están próximos a los elementos de hormigón exteriores, puede producirse un gradiente térmico inaceptable dentro de dichos elementos. El interior del muro se expandirá en relación con el exterior. Para minimizar este efecto, los calentadores se deberían mantener

alejados de los muros exteriores. Esto constituye una buena práctica, ya que también evitará retracción por secado y fisuración por carbonatación localizadas.

Durante la etapa constructiva el almacenamiento de los materiales y la operación de los equipos pueden provocar condiciones de carga mucho más severas que aquellas para las cuales se diseñó la estructura. Los daños originados por sobrecargas constructivas no previstas sólo se pueden impedir si los diseñadores proporcionan información sobre limitaciones de carga para la estructura y si el personal cumple con estas limitaciones.

#### **3.4.2.8.-ERRORES DE DISEÑO Y DETALLADO**

Las consecuencias de un diseño y/o detallado incorrecto van desde estructuras no satisfactorias desde el punto de vista estético hasta la falta de serviciabilidad o fallas catastróficas. Estos problemas sólo se pueden minimizar por medio de una profunda comprensión del comportamiento estructural (en su sentido más amplio).

Los errores de diseño y detallado que pueden provocar fisuración inaceptable incluyen el uso de ángulos reentrantes mal detallados en las esquinas de muros, elementos y losas premoldeados, la incorrecta selección y/o detallado de las armaduras, la restricción de elementos sujetos a cambios de volumen provocados por variaciones de temperatura y humedad, la falta de juntas de contracción adecuadas y el incorrecto diseño de las fundaciones, que provoca movimientos diferenciales dentro de la estructura.

Los ángulos reentrantes permiten la concentración de tensiones y, por lo tanto, son ubicaciones preferenciales para el inicio de fisuras. Ya sea que las elevadas tensiones sean el resultado de cambios de volumen, cargas en el plano o flexión, el diseñador debe reconocer que las tensiones siempre son elevadas cerca de esquinas o ángulos reentrantes. Algunos ejemplos bien conocidos son las aberturas



El uso de una cantidad inadecuada de armadura puede provocar fisuración excesiva. Un error típico consiste en armar un elemento ligeramente porque se trata de un " elemento no estructural." Sin embargo, el elemento (por ejemplo un muro) puede estar unido al resto de la estructura de una manera tal que se requiera que soporte gran parte de la carga una vez que la estructura se comienza a deformar. Entonces el "elemento no estructural" comienza a soportar carga de manera proporcional a su rigidez. Debido a que este elemento no ha sido detallado para actuar estructuralmente, se pueden producir fisuras antiestéticas aún cuando la seguridad de la estructura no esté en riesgo.

La restricción de elementos sujetos a cambios de volumen frecuentemente provoca fisuración. Las tensiones que se pueden generar en el hormigón debido a la restricción de la fluencia lenta, los diferenciales de temperatura y la retracción por secado pueden ser mucho mayores que las tensiones provocadas por las cargas. No es difícil que una losa o una viga restringida e impedida de acortarse, aún si está pretensada, desarrolle tensiones de tracción suficientes para provocar fisuración. Los muros bien diseñados deberían tener juntas de contracción separadas entre una y tres veces la altura del muro.

Las fundaciones mal diseñadas pueden provocar movimientos diferenciales excesivos dentro de una estructura. Si el movimiento diferencial es relativamente pequeño, el problema de la fisuración será puramente estético. Sin embargo, si se produce un importante asentamiento diferencial, es posible que la estructura no sea capaz de redistribuir las cargas con la velocidad suficiente para impedir la falla. Una de las ventajas del hormigón armado es que, si el movimiento se produce durante un período de tiempo suficientemente largo, la fluencia lenta permitirá que haya al menos alguna redistribución de la carga.

La importancia del correcto diseño y detallado dependerá de la estructura y las cargas particulares involucradas. Se debe tener especial cuidado en el diseño y

detallado de aquellas estructuras en las cuales la fisuración podría provocar problemas de serviciabilidad importantes. Estas estructuras también requieren inspecciones continuas durante todas las fases de la construcción para suplementar el diseño y detallado.

#### **3.4.2.9.-CARGAS APLICADAS EXTERNAMENTE**

Se sabe que las tensiones de tracción inducidas por las cargas provocan la fisuración de los elementos de hormigón.

El ancho de fisura aumenta con el aumento de la tensión de las armaduras, el espesor del recubrimiento y la sección de hormigón que rodea cada una de las barras. De todas estas variables la más importante es la tensión del acero de las armaduras. El diámetro de las barras no es una consideración importante. El ancho de una fisura en la parte inferior de una viga aumenta a medida que aumenta el gradiente de deformación entre el acero y la cara traccionada de la viga.

A pesar de que aún queda mucho camino por recorrer, los principios básicos del control de la fisuración ya han sido comprendidos. Las armaduras bien distribuidas ofrecen la mejor protección contra la fisuración no deseada al igual que reducir la tensión en el acero, utilizando mayor cantidad de armaduras, también reducirá la cantidad de fisuración. Aunque una reducción del recubrimiento también reducirá el ancho de fisura superficial, los diseñadores deben recordar que las fisuras (y por lo tanto los anchos de fisura) perpendiculares a las armaduras no afectarán la corrosión del acero de manera significativa, a la vez que una reducción del recubrimiento de hormigón perjudicará la protección contra la corrosión de las armaduras.

### 3.4.3.-CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS DAÑOS EN EL HORMIGÓN

En resumen, las fisuras pueden tener su origen en acciones de tipo mecánico (tracción, cortante, torsión, flexión, compresión); en acciones de tipo químico (ataque por ácidos, reacción árido-álcali, ataque por sulfatos, etc.); en acciones de tipo electroquímico (corrosión de armaduras); en acciones de tipo físico (contracciones y dilataciones térmicas, heladas, fuego, cristalización interna de sales, etc.); en acciones de tipo reológico (retracción plástica o de secado, etc.).

Generalmente las fisuras se encuentran catalogadas y ahora con la ayuda de la siguiente figura se podrán mostrar algunas de estas, que pueden tener una idea bastante acertada de su posible origen (Figura 3.1, cuadro 3.1).

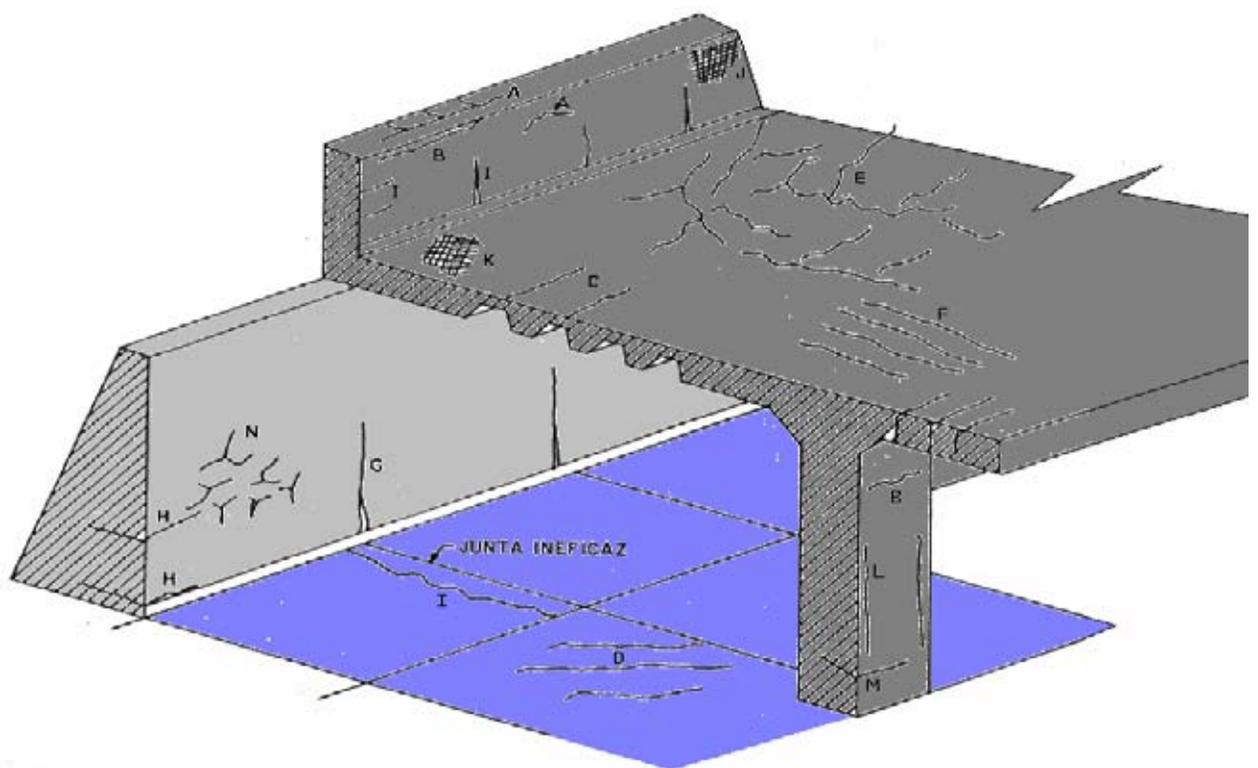


Fig 3.1 Detalle tipo de estructuras dañadas (Fuente:www.

<http://orbita.starmedia.com/~martzsolis/DIAGNOSTICO.htm>)

TIPO DE FISURA	DESIGNACIÓN EN FIG. 2.1	FORMA	POSICION	CAUSA PRINCIPAL	CAUSA SECUNDARIA	TIEMPO DE APARICIÓN
Asentamiento plástico	A	Sobre barras	Grandes Secciones	Exceso de exudación	Condiciones de secado rápido a corta edad	10 minutos a 3 horas
	B	Arqueada	Parte superior de pilares	Exceso de exudación		
	C	Cambia con profundidad	Pavimentos por encofrados deslizantes	Exceso de exudación		
Retracción térmica	D	Diagonal	Pavimentos y losas	Secado rápido a corta edad	Baja exudación	
	E	Distribución arbitraria	Losas de hormigón armado	Secado rápido a corta edad		
	F	Sobre armaduras	Losas muy armadas	Secado rápido a corta edad y barras cerca de la superficie		
Contracción térmica temprana	G	Restricción externa	Muros gruesos	Exceso de calor de hidratación	Enfriamiento rápido	1 día a 2 o 3 semanas
	H	Restricción interna	Losas gruesas	Exceso de gradiente térmico		
Retracción de secado a largo plazo	I		Losas delgadas y paredes	Juntas ineficaces	Exceso de retracción por curado ineficaz	Varias semanas
Afogarado	J	Superficie frente a encofrado	Compactación deficiente	Encofrados impermeables	Mezclas ricas. Curado escaso	1 a 7 días (a veces mucho después)
	K	Exudación	Losas	Exceso de fratasado		
Corrosión de armaduras	L	Natural	Vigas y pilares	Recubrimiento deficiente	Pobre calidad del hormigón	Más de 2 años
	M	Cloruro cálcico	Prefabricados	Exceso de cloruro cálcico		
Reacción árido/álcali	N		(Presas)	Áridos reactivos con cemento ricos en álcalis		Más de 5 años

(Cuadro 3.1, fuente: [www. http://orbita.starmedia.com/~martzsolis/diagnostico.htm](http://orbita.starmedia.com/~martzsolis/diagnostico.htm) )

## **CAPITULO IV**

### **EVALUACIÓN DEL DAÑO**

#### **4.1.- INTRODUCCIÓN**

La eficiencia de cualquier método de reparación depende del diagnóstico acertado del estado actual de la estructura. La metodología de inspección y el muestreo deben basarse en una estrategia de incremento: El tipo y la extensión de futuras pruebas y extracción de testigos se deciden según se van descubriendo deficiencias en la estructura.

A pesar de que usualmente se prefieren ensayos con métodos no destructivos, es necesario complementar éstos con métodos destructivos para asegurar el conocimiento cierto de naturaleza, causas y extensión de los defectos.

Es importante abordar también que antes de reparar cualquier tipo de fisura en una estructura de hormigón es de vital importancia ubicar primordialmente su ubicación y extensión de esta.

#### **4.2.- UBICACIÓN Y GRAVEDAD DE LA FISURACIÓN DEL HORMIGÓN**

Hay lesiones que no afectan a la integridad mecánica de la estructura y cuya reparación puede realizarse sin entrar en un análisis estructural. Estos casos suelen producirse con algún tipo de fisuras estabilizadas provocadas por retracción de secado, cuando existen coqueras o zonas en las que el hormigón ha penetrado mal en la pieza, etc. Sin embargo, hay otros casos mucho más complejos en los que hay que realizar una evaluación de la capacidad mecánica resistente de la estructura, o más frecuentemente de elementos de la misma, a fin de conocer la importancia y el tipo de reparación a realizar y las medidas de seguridad que habrá que tomar durante la misma.

La ubicación y magnitud de la fisuración, así como el estado general del hormigón de una estructura, se pueden determinar mediante observaciones directas e indirectas, ensayos no destructivos y destructivos, y ensayos de testigos extraídos de la estructura.

#### **4.2.1.- OBSERVACIÓN DIRECTA E INDIRECTA**

Se deben registrar las ubicaciones y anchos de las fisuras utilizando un esquema de la estructura. Marcar una grilla sobre la superficie de la estructura puede ser útil para ubicar con precisión las fisuras en el esquema.

Los anchos de las fisuras se pueden medir con una precisión de alrededor de 0,025 mm utilizando un comparador, que es un pequeño microscopio de mano con una escala en el lente más próximo a la superficie observada (Figura 4.01). Los anchos de las fisuras también se pueden estimar utilizando una tarjeta de comparación, que es una tarjeta con líneas claramente marcadas, cada una de ellas de un ancho especificado. El esquema debe incluir observaciones tales como descascaramientos, armaduras expuestas, deterioros superficiales y manchas de óxido.

También hoy en día hay distintos aparatos electrónicos y manuales los cuales pueden servir para medir las fisuras, y suelen ser de gran ayuda para los ingenieros debido a que estos pueden detallar de forma casi acertada los anchos de la fisura, algunos de esos aparatos son los siguientes:

**Deformómetro (Fig.4.02):** Mide la deformación lineal, grietas, contracciones y movimientos a través de un equipo estándar fabricado en acero INVAR, con una longitud de medida de 300 mm., con un comparador de rango de 5 mm X 0.001 mm, barra de medida y calibrado, 50 discos de marca de referencia y adhesivo que se presenta en un estuche de 400 X 200 X 70 mm.

**Monitor de fisuras (Fig.4.03):** Aparato de policarbonato para la medida de movimientos horizontales y verticales en grietas, con precisiones de  $\pm 1$  mm en redes y de  $\pm 0.1$  mm. Con un calibrador. Sus adaptadores permiten la utilización en esquinas internas y externas. Se fija a través de adhesivo o con cuatro tornillos.

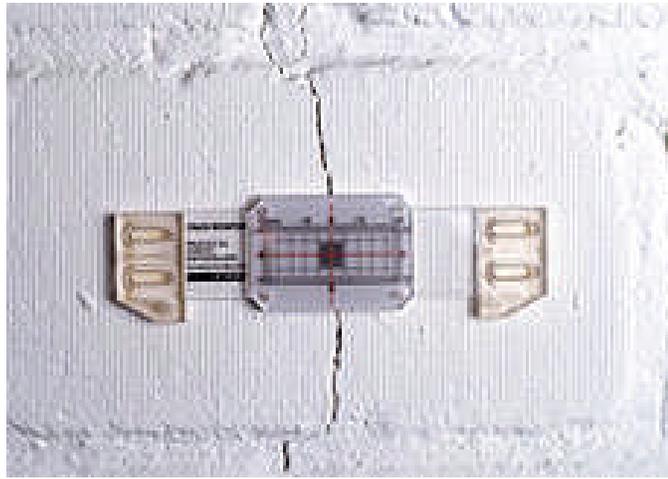
**Regla para medir fisuras (Fig.4.04):** Es un instrumento de plástico, con graduaciones desde los 0.05 a los 5 milímetros, combinada con diez escalas de reducción.



Fig. 4.01 Comparador para medir anchos de fisura ( Edmund Scientific Co.)



Fig. 4.02 (Deformómetro)



*Fig. 4.03 (Monitor de fisuras)*



*Fig. 4.04 (Regla para medir fisuras)*

#### **4.2.2.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

El objeto de los ensayos no destructivos es conocer la calidad del hormigón en obra, sin que resulte afectada la pieza o estructura objeto de examen.

##### **4.2.2.1.-Métodos esclerométricos:**

Constituyen ensayos elementales que determinan la dureza superficial del hormigón, bien mediante la energía residual de un impacto sobre la superficie del hormigón.

**a) El martillo Schmidt:** es el más utilizado por su sencillez y bajo coste, mide la dureza superficial del hormigón en función del rechazo de un martillo ligero. Debe obtenerse el rechazo medio de varias determinaciones, limpiando y alisando previamente la superficie que se ensaya. Útil para determinar la marcha del endurecimiento del hormigón, o para comparar su calidad entre distintas zonas de una misma obra. Los resultados que se obtienen vienen afectados x varias variable y por ello en manos inexpertas conduce a conclusiones erróneas.



Fig.4.05 Martillo Schmidt (fuente: [www.proceq-usa.com](http://www.proceq-usa.com))

**b)El martillo Frank:** mide la dureza superficial del hormigón por el diámetro de la huella que deja impresa una bola de acero sobre la que se da un golpe.

**c)El esclerómetro Windsor:** se basa en aplicar a la superficie del hormigón una especie de clavo de acero extraduro, que se introduce en el material por medio de una carga explosiva. Lo que se mide es la profundidad de penetración, que viene relacionada con la resistencia a compresión del hormigón. El ensayo es aplicable a superficies planas y curvas, losas de pequeño espesor, etc.



Fig. 4.06 Esclerómetro Windsor (Fuente:www. soiltest.com)

#### 4.2.2.2.- Métodos por velocidad de propagación:

se fundan en la relación que existe entre la velocidad de propagación de una onda progresiva o impulso, a través de un medio homogéneo e isótropo, y las constantes elásticas del material, que a su vez están ligadas con la resistencia del mismo.

La más rápida de estas ondas, es la longitudinal, que corresponde a las deformaciones de tracción-compresión.

$$V_1 = \sqrt{\frac{E_d \cdot g}{\gamma} \cdot \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}}$$

$E_d$  = Módulo de elasticidad longitudinal dinámico del hormigón.

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$\gamma$  = Peso específico del hormigón.

$\nu$  = Coeficiente de Poisson.

La otra onda es transversal, que corresponde a las deformaciones de esfuerzo cortante

$$V_1 = \sqrt{\frac{G_d \cdot g}{\gamma}} = \sqrt{\frac{E_d \cdot g}{\gamma} \cdot \frac{1}{(1-2\nu)}}$$

$G_d$  = Módulo d elasticidad transversal dinámico.

El equipo más corriente y conocido se compone de un generador de impulsos eléctricos, un osciloscopio, un marcador de tiempos, un excitador de vibraciones piezoeléctrico y un captador del mismo.



Fig.4.07 Dispositivo ultrasónico (Fuente:www. soiltest.com)

#### 4.2.2.3.- Métodos por resonancia:

Están basados en la relación existente entre la frecuencia de resonancia de una pieza y las constantes elásticas del material. El inconveniente es que se han de efectuar los ensayo sobre probetas o piezas de pequeñas dimensiones.

Si en una probeta o pieza de hormigón se logra excitar una vibración, cuya frecuencia coincida con su frecuencia propia o de resonancia, pueden determinarse las constantes elásticas del material mediante las siguientes relaciones que se detallan:

$$E_d = K_1 \cdot P \cdot f_1^2$$

$$E_d = K_2 \cdot P \cdot f_2^2$$

$$G_d = K_3 \cdot P \cdot f_3^2$$

**P** = Peso d la probeta.

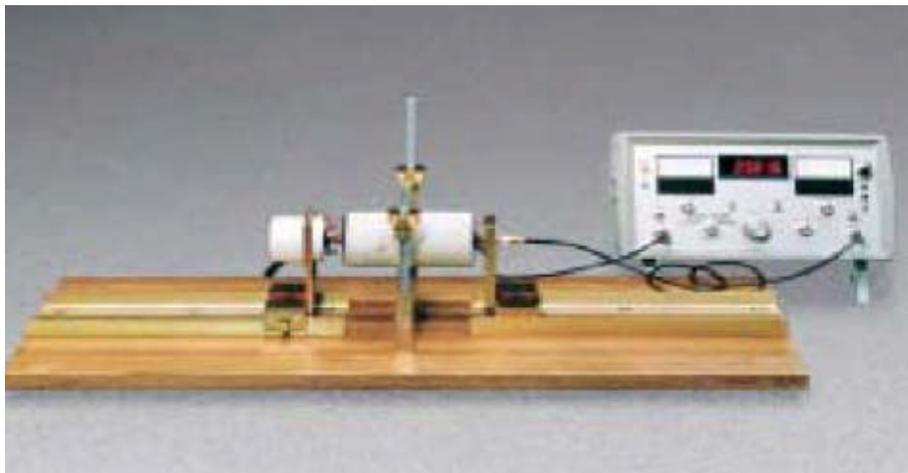
**E<sub>d</sub>** = Módulo d elasticidad dinámico.

**G<sub>d</sub>** = Módulo de rigidez dinámico.

**f<sub>1</sub>** = Frecuencia de resonancia transversal.

**f<sub>2</sub>** = Frecuencia de resonancia longitudinal.

**f<sub>3</sub>** = Frecuencia de resonancia por torsión.



*Fig.4.08 Comprobador de frecuencia resonante (Fuente:www.soiltest.com)*

#### **4.2.2.4.- Métodos combinados o mixtos:**

Cada uno de los métodos que acaban de ser expuestos posee sus propias limitaciones. Ello ha dado lugar a que se desarrollen métodos mixtos.

Como método combinado se recomienda relacionar el índice de rebote esclerométrico, la velocidad del impulso ultrasónico y la resistencia a compresión del hormigón obtenida mediante extracción de probetas testigo.

#### 4.2.2.5.- Métodos por absorción o difusión de isótopos radiactivos:

Estos métodos de ensayo están aún en vía de experimentación, pueden ser de bastante interés para efectuar un control de la homogeneidad del hormigón. El control de la calidad del hormigón puede efectuarse, bien midiendo su densidad, o bien mediante la determinación del contenido de agua.

La densidad del hormigón puede determinarse basándose en la absorción de rayos gamma, a su paso a través de la masa del mismo.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

**I** = Radiación que atraviesa el espesor  $x$ .

**$I_0$**  = Radiación incidente.

**$\mu$**  = Coeficiente de absorción.

**$x$**  = Espesor del material.

El método resulta útil para detectar algún defecto del hormigón endurecido, o bien, para controlar la homogeneidad del hormigón fresco.

La calidad del hormigón puede también determinarse midiendo su contenido en agua, mediante la retrodifusión de los neutrones rápidos de los átomos de hidrógeno de la misma.

#### 4.2.3.- ENSAYOS EN TESTIGOS DE HORMIGÓN

Se puede obtener información importante extrayendo testigos de zonas seleccionadas de la estructura. Los testigos y sus perforaciones ofrecen la oportunidad de medir con precisión el ancho y la profundidad de las fisuras. Además, se puede obtener una indicación de la calidad del hormigón mediante ensayos de

resistencia a la compresión, aunque para determinar la resistencia del hormigón no se deben utilizar testigos fisurados. Un análisis petrográfico del hormigón fisurado permite identificar las causas materiales de la fisuración, tales como reactividades alcalinas, daño por ciclos de congelamiento, fisuración de borde, presencia de partículas de agregado expansivas, daños relacionados con incendios, retracción y contracción. La petrografía también permite identificar otros factores que pueden estar relacionados con la fisuración, tales como la relación agua-cemento, el volumen relativo de pasta y la distribución de los componentes del hormigón. A menudo la petrografía sirve para determinar la edad relativa de las fisuras e identificar depósitos secundarios en superficies de fractura, los cuales afectan los programas de reparación.

Los ensayos químicos para detectar la presencia de cloruros excesivos indican el potencial de corrosión de las armaduras embebidas.

#### **4.2.4.- REVISIÓN DE PLANOS Y DATOS CONSTRUCTIVOS**

Se debería revisar el diseño estructural y la disposición de las armaduras originales, u otros planos que permitan confirmar que el espesor y la calidad del hormigón, junto con las armaduras existentes, satisface o supera los requisitos de resistencia y serviciabilidad indicados en el, o los códigos de edificación aplicables. Se debería prestar particular atención a la revisión detallada de las cargas actuales y su comparación con las cargas de diseño. Para calcular las tensiones de tracción inducidas por las deformaciones del hormigón (fluencia lenta, retracción, temperatura, etc.) se deberían considerar las configuraciones del hormigón, condiciones de vínculo y presencia de juntas de construcción y de otros tipos. Se debería prestar particular atención a las fisuras que se desarrollan paralelas a losas armadas en una sola dirección, fundamentalmente apoyadas sobre vigas, pero que también cargan las vigas principales que soportan dichas vigas.

## CAPITULO V

### DIAGNÓSTICO Y SOLUCIONES

#### 5.0.1.- INTRODUCCIÓN

Después de haber identificado y evaluado las distintas fisuras que pueden actuar en los elementos de hormigón armado en el siguiente capítulo describiremos las eventuales fallas para los diferentes elementos estructurales y sus correspondientes alternativas de reparación, donde también analizaremos los procedimientos a seguir en los diferentes daños que comúnmente se presentan en los elementos de hormigón, todo lo que se va a describir en este capítulo es extraído de diferentes textos y memorias de titulación como también instructivos técnicos de distintas empresas certificadas lo cual asegura la calidad del procedimiento a seguir y esto facilitara la creación de los documentos de calidad llamados protocolos.

#### 5.0.2.- HORMIGÓN ARMADO – VIGAS (Jorge Montegu Soler):

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN
- Grietas por flexión pura.  (Fig.5.001)	Evaluar la situación del elemento y determinar:  a) Recuperar monolitismo: - Inyección de epóxico.  b) Refuerzo del elemento: - Verificar armadura existente.  - Reforzar en caso necesario, para lo

<p>Grietas por esfuerzo de corte. (tracción diagonal).  (Fig.5.002)</p>	<p>cual se debe :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Colocar insertos (tipo anclajes) a través de perforaciones; relleno con epóxico.</li> <li>▪ Picar y colocar armadura adicional, hormigonar o rellenar con mortero epóxico.</li> <li>▪ Reforzar con armadura externa (platabandas adheridas con epóxico).</li> </ul> <p>c) Eventual demolición y reemplazo.</p>
<p>- Rotura por compresión (Fig.5.003) - Rotura por pandeo del alma (vigas de alma muy delgada T-I). (Fig.5.004) - Rotura por deslizamiento de armaduras. (Fig.5.005)</p>	<p>Analizar resistencia del hormigón y estado tensional de las armaduras.</p> <p>a) Refuerzo exterior con platabandas. b) Posible demolición y reemplazo.</p>
<p>- Rotura en antepechos, antetechos, vigas Invertidas. (Fig.5.006)</p>	<p>a) Reconstituir monolitismo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grieta limpia: inyectar epóxico.</li> <li>- Junta con suciedades: picar por sectores, rellenar con mortero epóxico.</li> </ul> <p>b) Revisar anclajes de armaduras, reforzar.</p> <p>c) Eventual demolición.</p>

<p>- Nidos en fondos de vigas y nudos.</p> <p>(Fig.5.007)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alzaprímado eventual.</li> <li>- Remoción del hormigón defectuoso.</li> <li>- Regularizar superficie.</li> <li>- Reemplazo del hormigón :             <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Defectos superficiales: Reconstituir recubrimiento mediante mortero de cemento con lechada de adherencia.</li> <li>b) Defectos profundos de poca extensión: Relleno con mortero epóxico.</li> <li>c) Nidos mayores de grandes volúmenes y/o extensión : Reemplazo con hormigón previa aplicación de puente de adherencia.</li> </ul> </li> </ul>
---	---

(Cuadro 5.1, Jorge Montegu Soler)

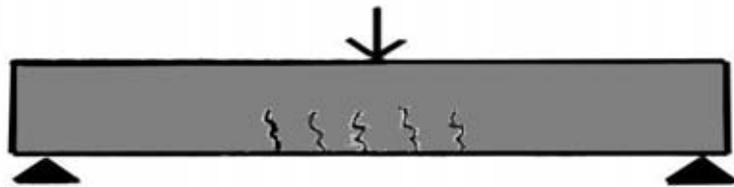


Fig.5.001

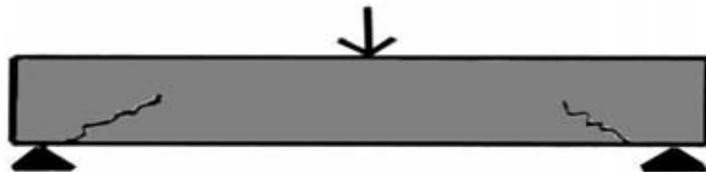


Fig.5.002

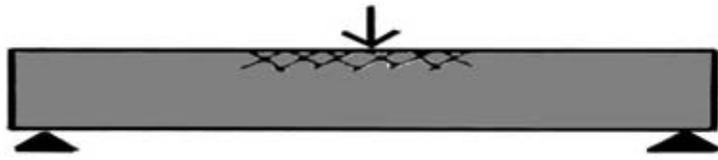


Fig.5.003

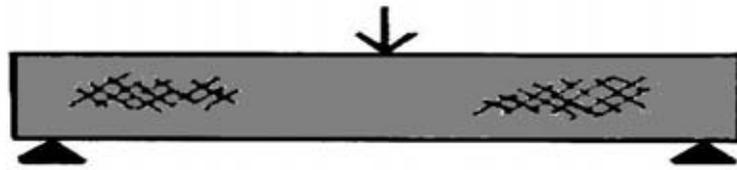


Fig.5.004

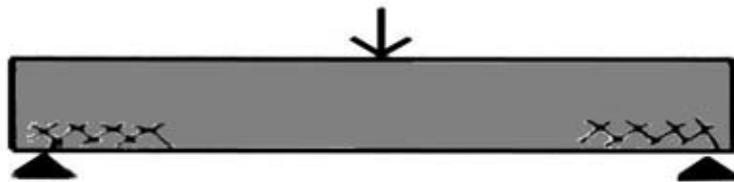


Fig.5.005

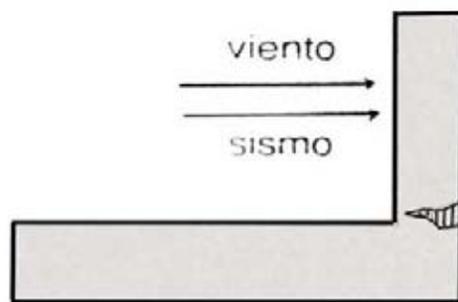


Fig.5.006



Fig.5.007

### 5.0.3.- HORMIGÓN ARMADO – NUDOS DE VIGAS – CADENAS- PILARES:

(Cuadro 5.2, Jorge Montegu Soler)

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN
- Fallas en encuentros entre vigas y/o cadenas. (Fig.5.008)	<p>a) Picado, descubrir armaduras, colocar esquinero soldado a armadura existente. Rellenar con mortero epóxico o mortero de alta resistencia y puente de adherencia.</p> <p>b) Eventual refuerzo con armadura exterior.</p>
- Falla por cizalle en la unión. (Fig.5.009)	<p>a) Reconstituir monolitismo : reparar mediante inyección o mortero epóxico.</p> <p>b) Refuerzos en nudo :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perforaciones verticales o inclinadas</li> <li>- Relleno epóxico.</li> <li>- Colocar insertos.</li> </ul>

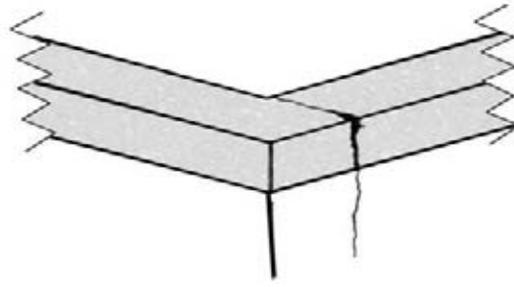


Fig.5.008

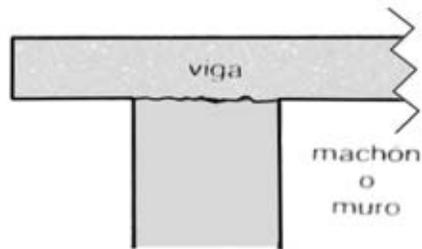


Fig.5.009

#### 5.0.4.- HORMIGÓN ARMADO – LOSAS:

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN
- Grietas por flexión. (Fig.5.010)  (Losas en tramos interiores).	a) Reconstituir monolitismo: Inyección con epóxico.  b) Aumentar armadura de tracción: Platabandas adheridas con epóxico.  c) Reforzar y aumentar altura : - Sobrelosa armada adherida con epóxico.  - Platabandas en zona inferior.

<p>- Grietas por flexión. (Fig.5.011)</p> <p>(Losas en volado).</p>	<p>a) Inyección con epóxico.</p> <p>b) Refuerzo :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Con armadura externa : Platabandas.</li> <li>- Ranurado, inserción de armadura y relleno con mortero epóxico.</li> <li>- Sobrelosa armada adherida con epóxico.</li> <li>- (Verificar longitudes de anclaje)</li> </ul>
<p>- Punzonamiento. (Fig.5.012)</p>	<p>a) Inyección con epóxico.</p> <p>b) Reducir concentración de tensiones mediante aumentos de sección del pilar y capiteles de acero y hormigón.</p> <p>c) Traspasar carga a elementos inferiores.</p>

(Cuadro 5.3, Jorge Montegu Soler)

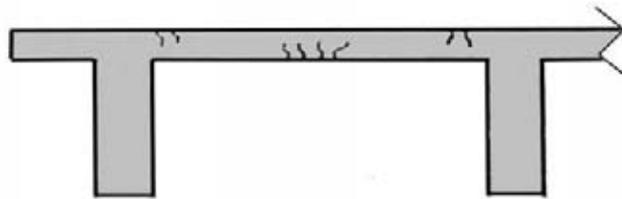


Fig. 5.010

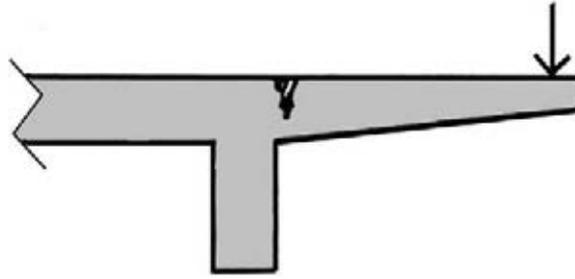


Fig.5.011



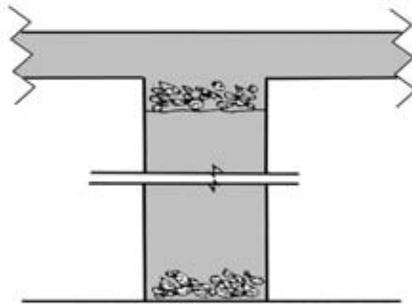
Fig.5.012

### 5.0.5.- HORMIGÓN ARMADO – COLUMNAS - MUROS:

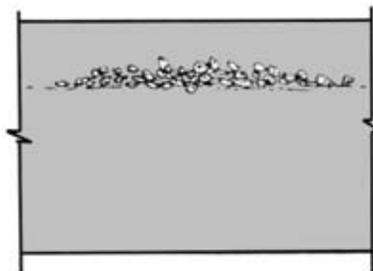
DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN
<p>- Nidos de piedras en columnas y muros, generalmente coincidentes con juntas de hormigonado.</p> <p>(Fig.5.013.a y 5.013.b)</p>	<p>General :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alzaprimar cuando el nido comprometa una sección importante.</li> <li>- Remover por picado todo el hormigón defectuoso y regularizar la forma geométrica de la cavidad.</li> </ul>

	<p>a) Nidos pequeños (espesor &lt; 5 cm.) Rellenar con mortero epóxico.</p> <p>b) Nidos mayores: Aplicar puente de adherencia epóxico, rellenar con hormigón con aditivo expansor.</p> <p>c) Hormigón preempacado: árido grueso precolocado e inyección de mortero.</p>
--	---

(Cuadro 5.4, Jorge Montegu Soler)



*Fig.5.013.a*



*Fig.5.013.b*

### 5.0.6. - HORMIGÓN ARMADO – COLUMNAS :

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN
<p>- Grieta en junta de hormigonado. (Fig.5.014)</p>	<p>a) Grieta limpia: inyección epóxica.</p> <p>b) Grieta con aserrín, lechada o suciedades: alzaprimado, picado en ½ sección en espesor de 4 a 5 cm., relleno mortero epóxico. Después de 24 h. repetir en resto de la sección.</p> <p>Después de 48 horas, retirar alzaprimas.</p>
<p>- Grietas por esfuerzos de corte. Fracturas localizadas, eventual colapso del hormigón y pandeo de las armaduras.</p> <p>- Fracturas generalizadas. (Fig.5.015)</p>	<p>a) Inyección de grietas y refuerzo con armadura exterior adherida con epóxico.</p> <p>b) Alzaprimado, demolición local, colocación de estribos, hormigonado, retiro de alzaprimas después de 7 días.</p>

(Cuadro 5.5, Jorge Montegu Soler)

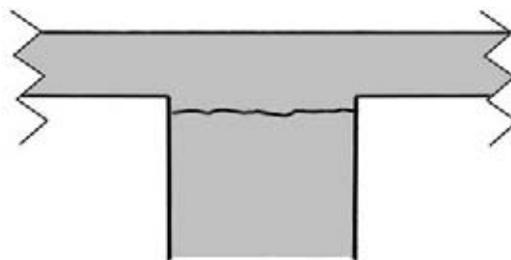


Fig.5.014.

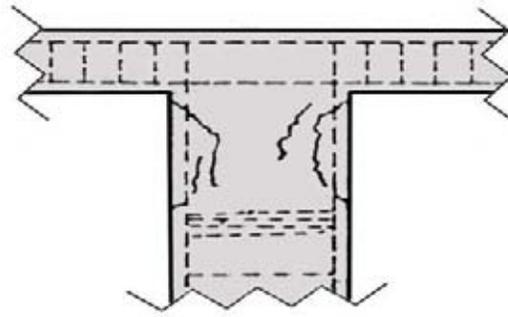


Fig.5.015

### 5.0.7.- HORMIGÓN ARMADO – MUROS DE HORMIGÓN:

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN
<p>- Defectos (grietas) en junta de hormigonado. (Fig.5.016)</p> <p>Falla por esfuerzo de corte.</p>	<p>a) Grieta limpia: inyectar con epóxico.</p> <p>b) Grieta con suciedades (aserrín): picado por tramos en todo el ancho del muro y 4 a 5 cm. de espesor - relleno con mortero epóxico.</p>
<p>- Agrietamientos generalizados en muros de hormigón. (Fig.5.017)</p>	<p>a) Recuperar monolitismo: inyección con epóxico.</p> <p>b) Análisis estructural; estudiar posibles refuerzos.</p>

(Cuadro 5.6, Jorge Montegu Soler)

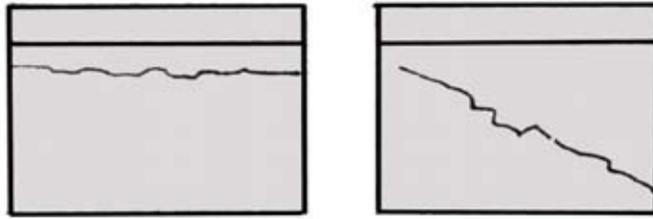


Fig.5.016

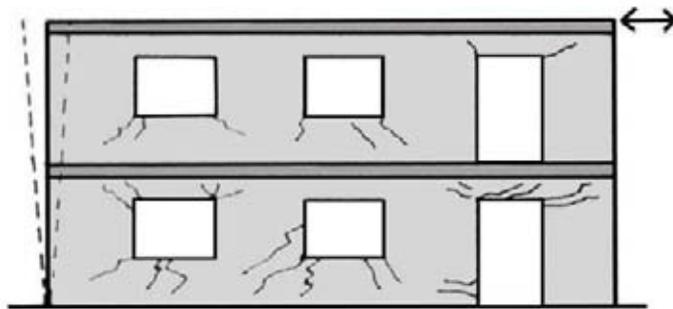
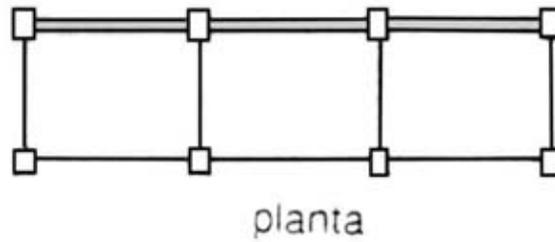
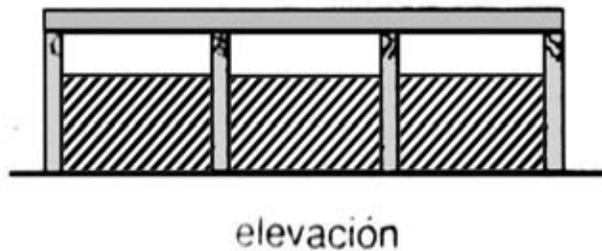


Fig.5.017

### 5.0.8.- HORMIGÓN ARMADO – COLUMNAS CORTAS:

(Cuadro 5.7, Jorge Montegu Soler)

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN
- Fallas por esfuerzos de corte en pilares cortos. (Fig.5.018.a y Fig 5.018.b)	a) Inyectar pilares fisurados. b) Demoler sectores muy dañados, revisar armaduras, hormigonar. c) Eventual reemplazo de muros de relleno por elementos más livianos. d) Eventual construcción de machones, cerrando algunos vanos para el corte.

*Fig.5.018.a.**Fig.5.018.b*

## **5.0.9.- SISTEMAS PARA REHABILITACIÓN Y REFUERZOS PARA ELEMENTOS DE HORMIGÓN**

### **5.0.9.1.- INYECCIÓN DE GRIETAS**

La inyección de fisuras y grietas con resinas epóxicas tiene por objeto recuperar el monolitismo de las estructuras, gracias a las propiedades de adherencia y resistencia de estos materiales; las inyecciones son aplicables a grietas sin movimiento. Siempre es necesario verificar con extracción de testigos la penetración real de la resina.

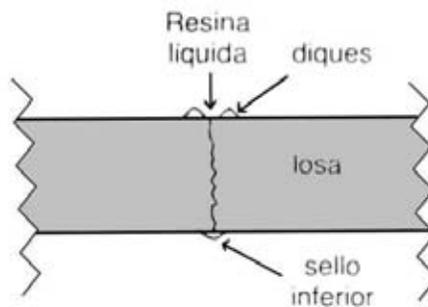
### a) Inyección Gravitacional

*Alcance:*

Elementos horizontales (losas) con grietas de aberturas superiores a 1 mm.

*Procedimiento:*

- Limpieza con aire comprimido.
- Sellar en la cara inferior con masilla epóxica.
- Ejecución de diques laterales con yeso o masilla en la cara superior.
- vaciar un sistema epóxico de viscosidad inferior a 200 cps para que fluya por gravedad al interior de la grieta.



*Fig. 5.019 (Fuente: Jorge montegu soler)*

### b) Inyección a Presión

*Alcance:*

Inyección de grietas y fisuras en cualquier posición. Para la inyección de grietas finas (<1mm) y particularmente en el caso de fisuras (< 0,5 mm) se deben emplear exclusivamente sistemas epóxicos de viscosidades inferiores a 200 cps.

Hoy en día las inyecciones en grietas alcanzan a cubrir fisuras del ancho de 0.05 mm de espesor, estos equipos de inyección de mezcla en punta (Fig.5.023) son de desplazamientos positivos de alta presión hasta 500psi que permiten controlar la

relación de mezcla entre los componentes y su viscosidad mientras dura el proceso de inyección.

*Procedimiento:*

- Limpieza con aire comprimido.
- Sellado superficial de la grieta con masilla epóxica.
- colocación de boquillas.
- inyección partiendo de las boquillas inferiores y avance hacia arriba a medida que la inyección progresa.

Algunos elementos para la inyección en fisuras son:

- Equipo Manual: Se utilizan sistemas epóxico de muy baja viscosidad y aplicación con pistolas de calafateo.
- Equipo Neumático: Se emplean equipos neumáticos con presión de aire comprimido de 2 a 7 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Equipo de Mezcla en Punta: Dosificación de los componentes a la salida del equipo, aplicación de altas presiones (hasta 14 Kg/cm<sup>2</sup>). Se emplean resinas con viscosidades bajas.



Fig.5.020

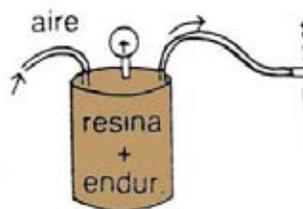


Fig.5.021

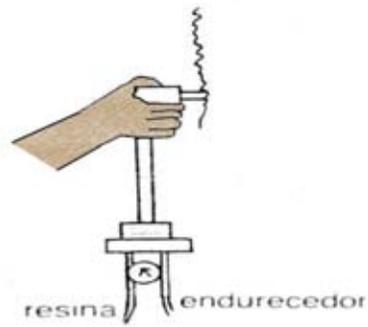


Fig.5.022



Fig.5.023

### 5.0.9.2.- REPARACION SUPERFICIAL

#### a) Aplicación Manual

##### *Alcance:*

Se aplican a fallas de reducido espesor (0 - 5 cm), que sólo afectan la superficie del hormigón o el recubrimiento de armaduras, ver capítulo III.

##### *Procedimientos:*

- Definir bordes con cortador angular.
- Eliminar por picado todo hormigón defectuoso.
- Obtener forma geométrica adecuada.

- Limpieza con aire y/o agua hasta eliminar todo material suelto o partículas que puedan intervenir entre la adherencia entre el mortero y el hormigón antiguo.
- Aplicar con brocha lechada de adherencia epóxica, se recomienda productos Cave poxi fix 32 ó epóxicos de otros fabricantes que contengan iguales o mayores estándares de calidad sobre el producto.
- Preparar mortero 1:3 con arena gruesa de tamaño máximo 5 mm. o de 1/3 del espesor a rellenar; consistencia semiplástica y eventual aditivo expansor.
- Proyectar manualmente (chicoteo), compactar y alisar con platacho. Mantener húmedo por 7 días.

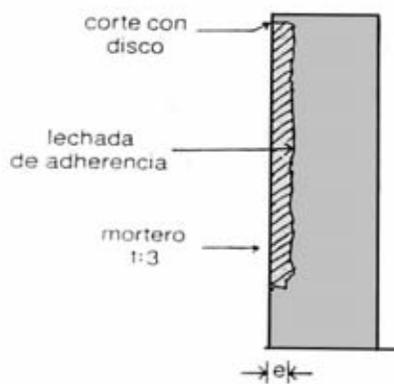


Fig.5.024

## b) Gunita: Mortero Proyectado

### *Alcance:*

Se aplica a fallas superficiales extensas o repetitivas. Recuperación del recubrimiento en el caso de corrosión de armaduras.

### *Equipos:*

Refuerzo de muros, agregando armaduras adicionales. Máquina lanzadora, compresor de capacidad superior a 400 pies<sup>3</sup> / minutos, accesorios complementarios.

Dosificaciones: Dosis de cemento superior a 350 Kg / m<sup>3</sup>. Tamaño máximo de la arena  $\leq 5$  mm. Razón agua - cemento ; 0,35 a 0,40.

*Procedimiento:*

- Tratar superficie como en caso anterior, picando hormigón defectuoso y dando geometría adecuada.
- Limpiar armaduras, eventualmente con chorro de arena.
- Colocar malla de refuerzo cuando corresponda.
- Aplicar mortero a alta presión. Cuando se requiere una terminación lisa, será necesario aplicar una capa final de mortero ligeramente plástico, y luego afinar con platacho. Curado húmedo por 7 días.

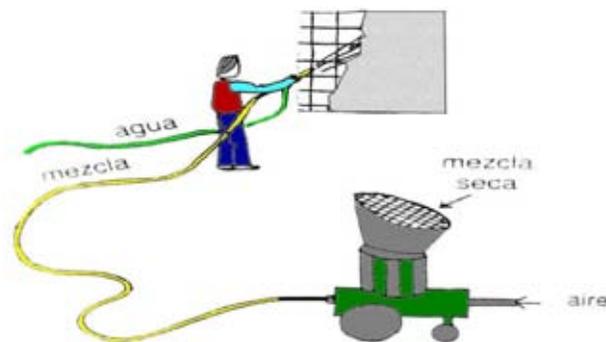


Fig.5.025

### 5.0.9.3.- REPLAZO DE HORMIGÓN

#### a) Morteros Epóxicos

*Alcance:*

Nidos pequeños, elementos cortados, reparaciones rápidas (gran resistencia en pocas horas-puesta en servicio en 24 - 48 horas).

*Procedimientos:*

- Alzaprimar cuando corresponda y/o reparar por parcialidades hasta completar el total de la superficie fracturada.

- Picar todo el hormigón defectuoso y regularizar superficies.
- Sólo se requiere moldajes en el caso de empezar morteros fluidos para rellenar lugares estrechos o de difícil acceso (grouting).
- Mezclar los componentes A y B (resina y endurecedor). Agregar el componente C (filler) según dosis indicada por fabricante y/o hasta obtener consistencia requerida.
- Los morteros secos o plásticos se aplican a mano (emplear guantes de goma). Cuando sea necesario se debe utilizar moldaje lateral para confinar.
- Para colocar morteros fluidos o grouting, se ocupa moldaje lateral separado, vaciando el mortero por un costado hasta que aparezca por el costado opuesto.

*Limitaciones:*

- Esta solución sólo será efectiva si el hormigón antiguo tiene las características resistentes establecidas por el proyectista; si se trata de un hormigón débil será necesario proyectar un refuerzo estructural adicional.
- Los productos a utilizar en la reparación deberán ser certificados por el responsable de calidad.

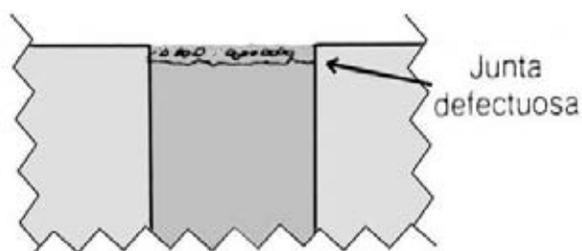


Fig.5.026

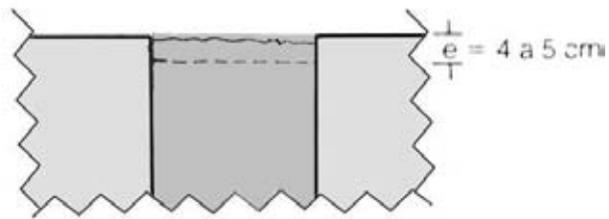


Fig.5.027

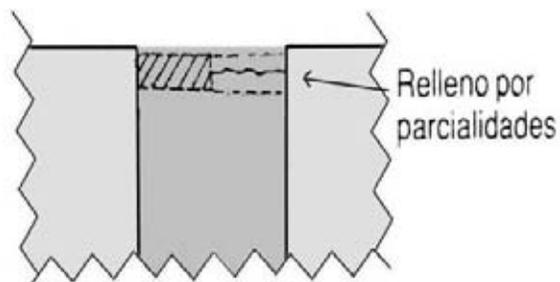


Fig.5.028

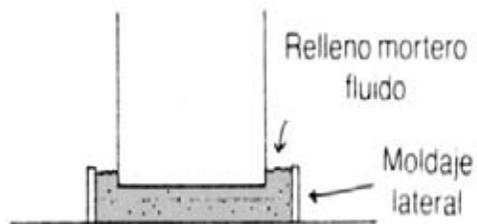


Fig.5.029

## b) Método Convencionales

### Alcances:

Reparación de nidos de piedras, rellenos de zonas defectuosas, aumentos de sección de elementos estructurales.

### Procedimientos:

- Preparar la base.
- Remover todo el hormigón defectuoso.

- Picar hasta alcanzar al hormigón monolítico y dar forma geométrica adecuada.
  - Profundidad mínima 10 cm.
  - Espesor mínimo detrás enfierradura 2.5 cm.
  - Eliminar exceso de irregularidades.
- Aplicar puente de adherencia epóxico con brocha en la superficie de contacto.
- Instalar moldaje estanco provisto de buzón.
- Preparar hormigón.
- Resistencia similar o superior al resto de la estructura.
- Dosis mínima de cemento 340 Kg/m<sup>3</sup>, preferentemente de alta resistencia.
- Tamaño máximo del árido compatible con espesores a hormigonar y densidad de armaduras; generalmente menor de 20 mm.
- *Docilidad*: asentamiento de cono de 8 a 12 cm, según condiciones de compactación.
- *Aditivos*: expansor y eventualmente plastificante.
- Llenar y compactar cuidadosamente: emplear vibrador de inmersión (  $\varnothing$  30 mm) o varillas y macetas.
- Desmolde.
- Laterales después de 24 horas. Fondo después de 3 a 7 días según solicitaciones.
- Corte del saliente con cinceles, de abajo hacia arriba, después de 24 horas.
- Curado húmedo por 7 días.

*Limitaciones:*

- Esta solución sólo efectiva si el hormigón antiguo tiene las características resistentes establecidas por el proyectista; si se trata de un hormigón débil será necesario proyectar un refuerzo estructural.
- Los productos a utilizar en la reparación deberán ser certificados por el responsable de calidad.

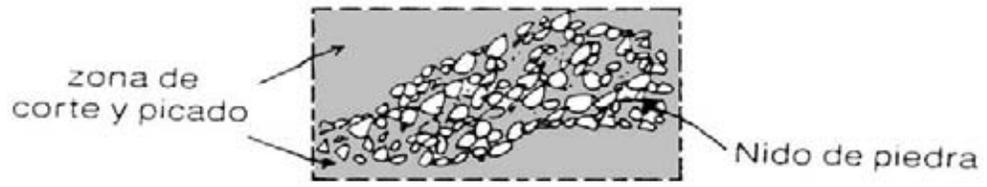


Fig.5.030

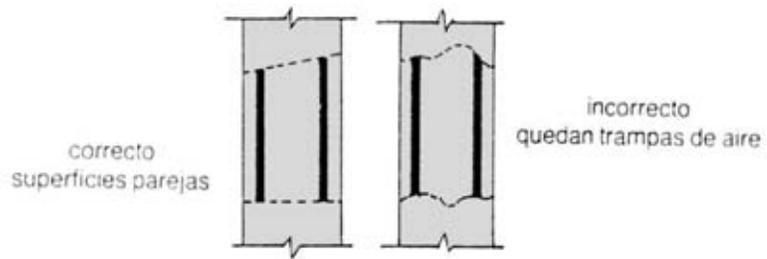


Fig.5.031

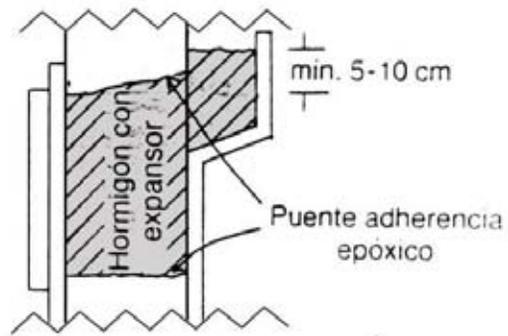


Fig.5.032

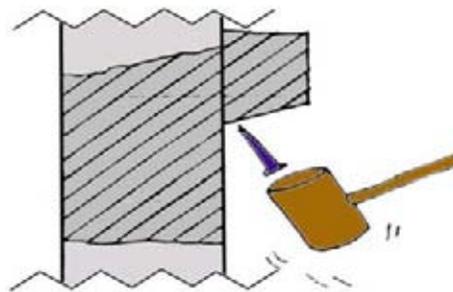


Fig.5.033

**c) Hormigón Preempacado. (Hormigón con árido grueso pre-colocado).***Definición:*

Inyección de mortero de cemento en los huecos de una masa compacta de agregados bien graduados y limpios, previamente colocados en el moldaje. Mayores antecedentes en ACI 304 Capítulo 7 "Preplaced Aggregate Concrete".

*Alcances:*

Relleno de lugares de difícil acceso, en que la condición de colocación de un hormigón convencional es engorrosa o imposible. Por la necesidad de equipos especiales se aplica principalmente a soluciones repetitivas. Pueden obtenerse resistencias superiores a 250 Kg / cm<sup>2</sup>; sus retracciones son muy reducidas.

*Equipos:*

Equipos habituales para la inyección de morteros, como mezclador, agitador y bomba.

*Grava:*

Apta para hormigones, lavada, de preferencia chancada, generalmente se utiliza grava de tamaño mínimo de 12 mm y máximo de 40 mm., y eventualmente de 25 mm. El porcentaje de huecos debe estar comprendido entre 38% y 40%.

*Mortero:*

Cemento + arena + agua + aditivo; arena de tamaño máximo 1,2 mm. MF 1.2 - 2.0, aditivo especial que contenga estabilizador y expansor (polvo de aluminio). La mezcla debe ser fluida y estable, con bajas exudación y sedimentación. La proporción aglomerante - arena fluctúa de 1:1 a 1:2 medida en peso.

*Procedimientos:*

- Se coloca un moldaje estanco, que se rellena con grava; previo a la inyección, ésta se moja.

- Se inyecta el mortero por las boquillas inferiores hasta que salga por las superiores (respiraderos); normalmente la presión de inyección es baja para no afectar a los moldajes.

*Limitaciones:*

- El hormigón antiguo debe tener las características resistentes establecidas en las especificaciones del proyecto a ejecutar.
- También se debe comprobar la calidad del hormigón existente.
- Los productos a utilizar en la reparación deberán ser certificados por el responsable de calidad.

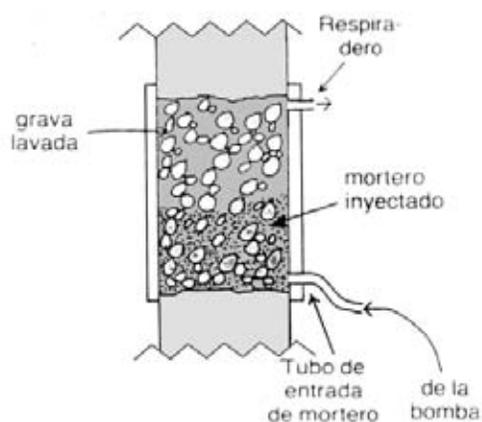


Fig.5.034

#### 5.0.9.4.- COLOCACIÓN DE REFUERZOS DE ACERO

##### a) Colocación de Armaduras Adicionales

*Procedimientos:*

- Se demuele parcial o totalmente el elemento en la zona a reforzar, aumentadas en las longitudes de empalme requeridas por las armaduras..
- Colocación de refuerzos según cálculo; recolocación de estribos.

- Hormigonado según lo indicado en . **5.0.9.3** sección b) o c). Dosis mínima 340 kg/m<sup>3</sup> y resistencia mínima a 28 días de 250 kg/cm<sup>2</sup>.
- Eventualmente se pueden colocar anclaje en el hormigón sano (**5.0.9.4 sección b**), con lo que se reduce la zona a demoler.

*Limitaciones:*

- El hormigón antiguo debe tener las características resistentes establecidas en las especificaciones del proyecto a ejecutar.
- También se debe comprobar la calidad del hormigón existente.
- Los productos a utilizar en la reparación deberán ser certificados por el responsable de calidad.

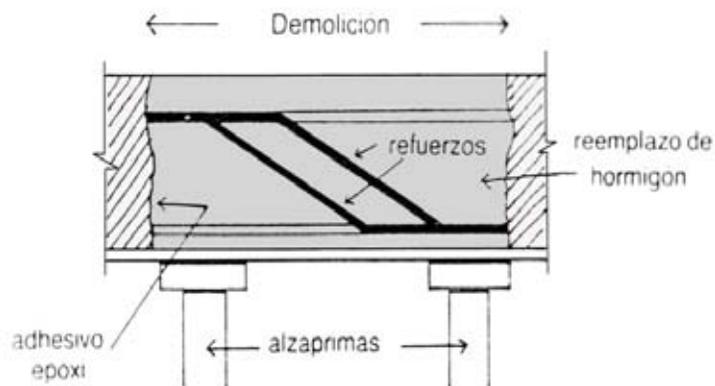


Fig.5.035

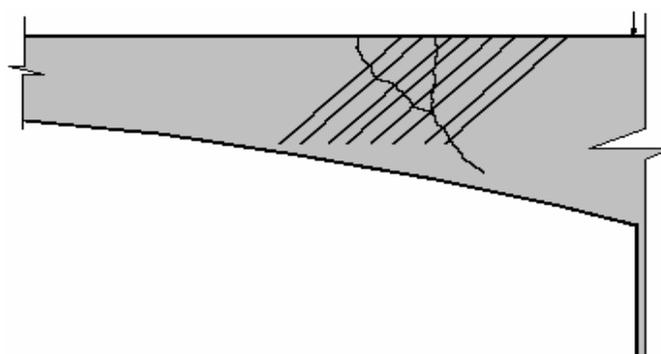


Fig.5.036

**b) Colocación de anclajes con epoxi (ver anexo 4)***Alcances:*

Colocación de refuerzos sin la necesidad de demoler. Anclar nuevas armaduras a hormigón existente.

*Procedimientos:*

- Perforar según longitud de refuerzo requerida; para efectuar un anclaje seguro su longitud debe ser:
  - $L \geq 10 \varnothing$  si  $R_{28} \geq 225 \text{ Kg/cm}^2$
  - $L \geq 15 \varnothing$  si  $R_{28} < 225 \text{ Kg/cm}^2$
  - Diámetro de la perforación →  $d = \varnothing + 12(\pm 2)\text{mm}$
- Limpiar la perforación
- Rellenar con un sistema epóxico para anclajes.
  - Perforaciones hacia abajo: sistema epoxi liquido.
  - Perforaciones Horizontales y sobrecabeza:masilla tixotroica
- Insertar el fierro girando para eliminar huecos y bolsas de aire, fijar en posición hasta endurecimiento de la resina.

*Limitaciones:*

- El hormigón antiguo debe tener las características resistentes establecidas en las especificaciones del proyecto a ejecutar.
- También se debe comprobar la calidad del hormigón existente.
- Los productos a utilizar en la reparación deberán ser certificados por el responsable de calidad.

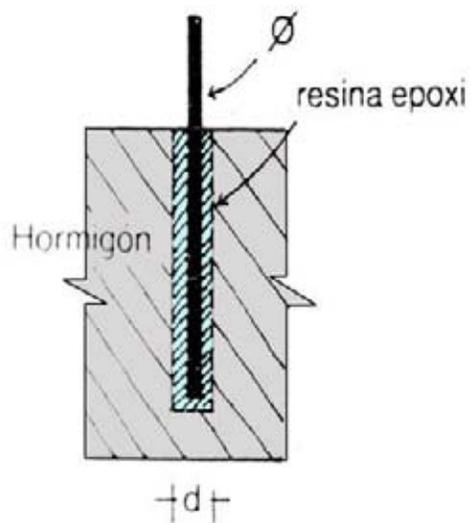


Fig.5.037

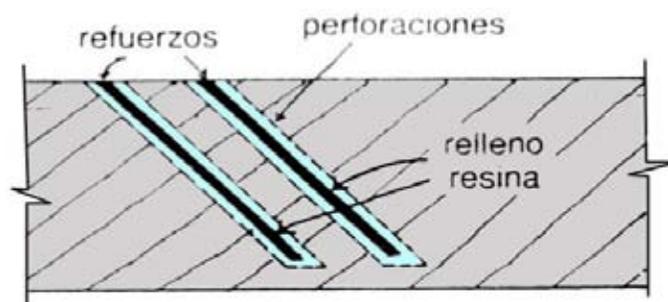


Fig.5.038

### c) Refuerzo externos (betón plaqué)

#### *Definición:*

Los refuerzos externos consisten en fijar mediante resinas epóxicas pletinas o platabandas de acero a estructuras existentes de hormigón sin necesidad de demoliciones o aumentos importantes de sección.

#### *Alcances:*

Estos trabajos deben ser cuidadosamente vigilados para comprobar que se cumplan la especificaciones del proyectista.

Son aplicables en todo aquellos casos en que se necesite aumentar la cuantía de acero, en que la calidad del hormigón es satisfactoria. Requiere un diseño cuidadoso y principalmente una ejecución por personal calificado (especializado) y supervicio de cada etapa.

Al efectuar el diseño hay que considerar el estado de cargas sobre la estructura, ya que si estas no se reducen (gateo y alzaprimados) quedara actuando la armadura primitiva, con lo que la nueva armadura solo entrara en funciones frente a sobrecargas y probablemente cuando la primera haya fallado. Por esta razón además se suele calcular la nueva armadura para tomar eventualmente el total de las solicitaciones.

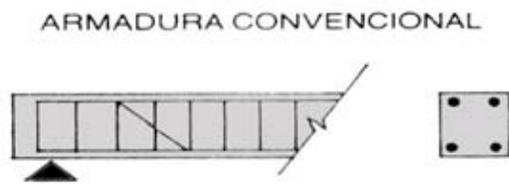
*Procedimientos:*

Trabajos preliminares:

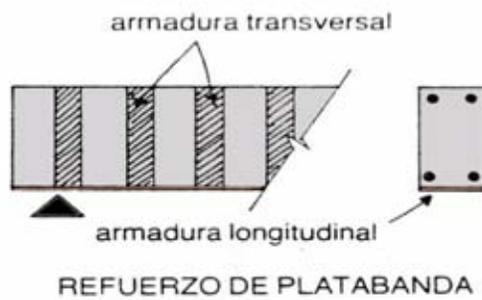
- Eliminar estucos y desbastar la capa superficial de hormigón para eliminar lechada y emparejar para que la superficie quede plana; tratar pletina con chorro de arena hasta metal blanco.
- Si la superficie de hormigón es irregular, se hará un tratamiento previo con mortero epóxico.
- *Sistema epoxi:* Emplear una masilla epóxica tixotrópica, de características y propiedades conocidas y en lo posible probada en empleos similares. Adherencia al acero debe ser superior a 200kgf/cm<sup>2</sup>.
- Aplicar el adhesivo sobre ambas caras en un espesor de aproximadamente 3mm.
- Aplicar una presión uniforme y suficiente para dejar un espesor final de adhesivo inferior a un milímetro.
- Mantener presionado y alzaprimado por 24 horas. En lo posible se utilizaran planchas de acero inferior a 5mm, preferentemente de 3 mm. Se debe procurar que el espesor resultante del adhesivo sea lo mas uniforme posible.

*Limitaciones:*

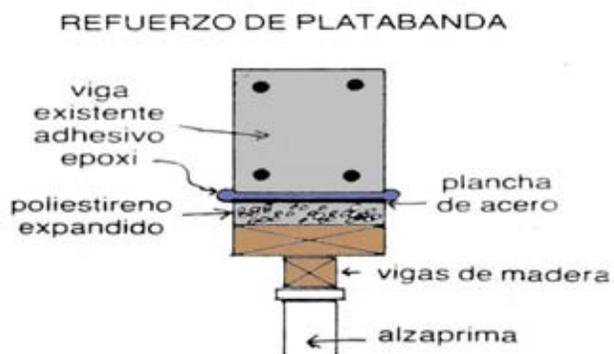
- El hormigón antiguo debe tener las características resistentes establecidas en las especificaciones del proyecto a ejecutar.
- También se debe comprobar la calidad del hormigón existente.
- Los productos a utilizar en la reparación deberán ser certificados por el responsable de calidad.



*Fig.5.039*



*Fig.5.040*



*Fig.5.041*

#### d) Insertos Superficiales

##### *Alcance:*

Reposición o aumento de armadura de superficie para:

- Corregir falta de estribos
- Mejoramiento de anclajes
- Armaduras parcialmente corroídas.

El proceso a seguir y la cantidad de refuerzo a utilizar debe ser consultado previamente antes de cualquier reparación a un ingeniero calculista.

##### *Procedimientos:*

- Fijar posición de las armaduras según indicación de calculista.
- Marcar los bordes de la ranura, cortar con disco(cortador angular),picar hasta el borde exterior de la armadura existente.
- Colocar la nueva armadura amarrada ala existente y comprobar las longitudes de empalmes.
- Rellenar con mortero epóxico.

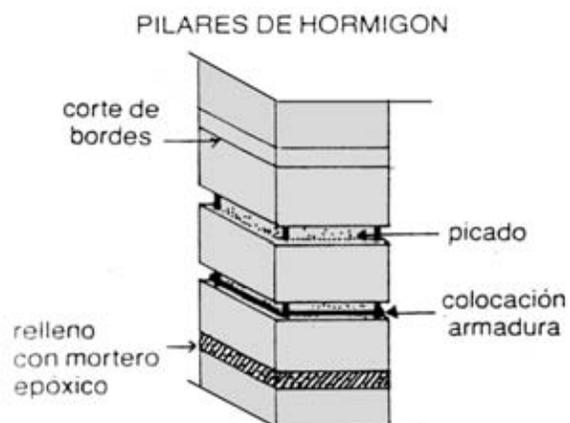


Fig. 5.042

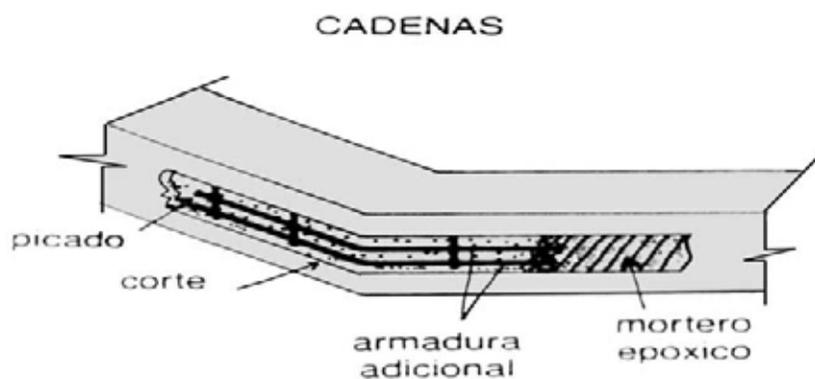


Fig.5.043

#### 5.0.9.5.- REPARACIONES CON FIBRAS DE CARBONO (CFRP) Y VIDRIO (GFRP)

##### a) Refuerzo, recuperación y reparación con fibra de carbono

*Definición:* ver anexo 1

*Alcances:*

Este método de reparación o **reforzamiento** de estructuras de hormigón se debe utilizar principalmente en vigas, en caso que se quiera utilizar en losa se debe consultar procedimientos al personal calificado para este tipo de reparación o reforzamiento.

*Procedimientos (ver esquema en anexo2):*

Una vez identificado el sistema de refuerzo, con la intervención de un ingeniero calculista, se continúa con el siguiente procedimiento.

- La superficie debe estar sana, limpia, seca libre de partes sueltas, contaminación de grasa, aceite, polvo, residuos de curadores, lechadas cementosas u otras materias extrañas. La edad del hormigón debe ser de 28 días como mínimo.
- Se debe usar el adhesivo *Sikadur-30(o similar)* como puente de adherencia para asegurar una buena pega de la lámina con la superficie del hormigón

Una vez correctamente mezclado el adhesivo *Sikadur-30*, aplicar cuidadosamente, sobre la superficie debidamente preparada, con una espátula en un espesor de aproximadamente 1 mm. Colocar la lámina sobre una mesa de trabajo y limpiarla muy bien con *Colma Limpiador* hasta que haya desaparecido todo vestigio de polvo de carbono sobre la superficie de la lámina. Con ayuda de una espátula aplicar el adhesivo *Sikadur-30* sobre la lámina en un espesor de 1 a 2 mm.

- La mejor manera de lograr ésta aplicación del epóxico es fabricar un dispensador de madera con una espátula en el extremo, el cual es llenado con *Sikadur 30*. Luego la lámina se desliza a través del dispensador bajo el *Sikadur 30* y luego a través de la espátula en forma de cubierta a dos aguas, de tal forma que la lámina sale impregnada de epóxico con una sección uniforme. Dentro del tiempo abierto del adhesivo, el cual depende de la temperatura, colocar la lámina sobre la superficie de hormigón recubierta con epóxico. Con el uso de un rodillo, la lámina se presiona sobre la masa del epóxico hasta que el adhesivo sea forzado a salir a ambos lados de la lámina. Remover el excedente de adhesivo epóxico.
- La platina Sika *CarboDur* viene empacada en rollos. La platina se puede suministrar cortando en la longitud requerida o para ser cortada en obra, una vez echo esto, el rollo deber ser manipulado con cuidado para prevenir daños por un mal desenrollado y para prevenir daños en forma de cortes en los extremos de la platina.
- Después del endurecimiento medir las resistencias a compresión, flexo tracción y adherencia.
- Cuando el adhesivo haya curado, se debe verificar la existencia de oquedades. La superficie del refuerzo debe ser protegida de la incidencia directa de los rayos solares, para proteger la formulación epoxídica.

*Limitaciones:*

- Esta solución sólo efectiva si el hormigón antiguo tiene las características resistentes establecidas por el proyectista y en caso que se trate de un hormigón débil será necesario que un ingeniero estructural proyecte los refuerzos a aplicar a la estructura.
- Los productos epóxicos para realizar este tipo de reparación no necesariamente tendrán que ser los especificados anteriormente, se podrán utilizar otros productos que cumplan con las mismas características de calidad o mayores, todo esto comprobado con un certificado del producto a utilizar y con su respectivo procedimiento.



*Fig. 5.044*



*Fig. 5.045*



Fig. 5.046



Fig. 5.047

### **b) Refuerzo, recuperación y reparación con fibra de vidrio (GFRP)**

*Definición:* ver anexo 3

*Alcances:*

Este método de reparación o reforzamiento de estructuras de hormigón se utilizan principalmente en vigas, columnas, muros, losas aumentando la resistencia y ductilidad de estos elementos consultando con un especialista la determinación de la cantidad de refuerzo a utilizar.

*Procedimientos preliminares:*

- Estos trabajos preliminares van a depender del modo de falla que tenga el elemento como además del tipo de trabajo que se haga sobre él:

- Cualquier elemento sometido a sobrecargas presentan deformaciones en mayor o menor grado debido a esto se produce una flecha la cual debe ser evaluada por el ingeniero calculista.
- En consecuencia uno de los primeros pasos, antes de proceder a la reparación, es dejar al elemento sin la flecha, para enderezar las vigas flexadas con grandes deformaciones se utilizan sistemas de gatos hidráulicos y alzaprimados provocando una contraflecha al aplicar carga, esto debe realizarse hasta lograr que el elemento recupere su forma original y quede completamente horizontal .

*Procedimientos:*

- La superficie debe estar sana, limpia, seca libre de partes sueltas, contaminación de grasa, aceite, polvo, residuos de curadores, lechadas cementosas u otras materias extrañas.(es fundamental para la adherencia entre el hormigón endurecido y la resina epóxica)
- Antes de comenzar cualquier tipo de reparación o refuerzo, se debe considerar que la edad del hormigón debe ser como mínimo de 28 días, y un contenido de humedad < 4%.
- Cuando la superficie sea irregular (irregularidades mayor a 0.5 mm.) debe ser nivelada con un mortero de reparación adecuado (Sikadur 31, Sikadur 41, o producto similares con sus respectivos certificados).
- De esta manera se protege el sistema de refuerzo de cortes o rajaduras que pudiesen ser provocados por las aristas o los cantos de la viga, se procede a desbastar los bordes de los elementos por medio de amoladora o esmeril angular, esto se hace a fin de evitar que los bordes produzcan corte sin filo que pueda debilitar o deshilar la fibra. El radio de los bordes redondeados no debe ser menor a 10mm.

- La limpieza en obra debe ser por chorro de arena, escarificadora o hidroarenado, Luego se debe remover completamente el polvo de la superficie con ayuda de una aspiradora industrial o alguna herramienta similar.
- Se aplica la resina Sikadur® 330(o producto similar que cumpla las características de la resina mencionada anteriormente Sikadur 33) el sustrato que es preparado según procedimientos de los fabricantes usando una brocha en una cantidad de 1,2 Kg./m<sup>2</sup>, esta aplicación se realiza sobre todo el área de contacto entre el hormigón y el refuerzo(fibra de vidrio), y depende de la geometría del elemento a reparar.
- Una vez aplicada la primera capa de impregnación, se coloca la malla FIBACRETE 0040/271(o la que sea requerida por el calculista), previamente cortadas según los requerimientos de los refuerzos, en la dirección requerida sobre la capa de resina.
- Colocada la malla sobre la resina, se alisa la superficie hasta que la resina salga entre las hebras del tejido
- La aplicación de las capas adicionales de tejido (máximo tres) se debe realizar aplicando una cantidad de resina de aproximadamente 0,5 Kg./m<sup>2</sup>. Esto debe realizarse antes de 60 minutos de aplicada la capa previa, siguiendo el mismo procedimiento anteriormente descrito.
- Al final debe colocarse una capa de recubrimiento de resina de aproximadamente 0,5 Kg./m<sup>2</sup>.

*Limitaciones:*

- Esta solución sólo efectiva si el hormigón antiguo tiene las características resistentes establecidas por el proyectista y en caso que se trate de un hormigón débil será necesario que un ingeniero estructural proyecte los refuerzos a aplicar a la estructura.

- Los productos para realizar este tipo de reparación no necesariamente tendrán que ser los especificados anteriormente, se podrán utilizar otros productos que cumplan con las mismas características de calidad o mayores, todo esto comprobado con un certificado del producto a utilizar y con su respectivo procedimiento.



*Fig.5.048*



*Fig.5.049*



*Fig.5.050*

### **5.0.9.6.- REPARACIONES CON FERROCEMENTO**

#### *Alcances:*

Este método de reparación o reforzamiento de estructuras de hormigón se utilizan principalmente en vigas Y muros aumentando la resistencia de estos elementos. Antes de realizar cualquier tipo de reparación debe ser analizado por un especialista en estructuras que debe determinar la cantidad de refuerzo a utilizar como también si se desea utilizar en otros tipos de elementos no mencionados.

#### *Procedimientos:*

- Antes de comenzar cualquier tipo de reparación o refuerzo, se debe considerar que la edad del hormigón debe ser como mínimo de 28 días.
- Definir caras a reparar.
- Picar las caras del hormigón a reparar para obtener rugosidad.
- Obtener forma geométrica adecuada.
- Limpieza con aire y/o agua hasta eliminar todo material suelto o partículas que puedan intervenir entre la adherencia entre el mortero y el hormigón antiguo.
- Luego preparado puente de adherencia según instrucciones del fabricante, (se recomienda colmafix 32 ó producto similar que cumpla con las exigencias requeridas para este tipo de reparación) debe ser aplicado con brocha en las caras de los elementos a reparar consultando toda duda al profesional a cargo.
- Colocar barras de fierro estriado o liso. (esta barra debe colocarse si exigido por el ingeniero calculista , esto depende del tamaño del daño que tenga la estructura a reparar)
- Inmediatamente después colocamos la malla ACMA(4.2mm de diámetro) alrededor del elemento que estemos reparando esta malla debe ser afianzada con clavos especiales para concreto.

- Una vez colocada la malla ACMA el paso siguiente es la colocación de la malla hexagonal (o malla de gallinero) de la misma forma que la anterior, fijándola con alambre negro nº 18 a la malla ACMA.
- Transcurrido el tiempo requerido por el fabricante del puente adherente, hay que preparar el mortero de cemento (dosificación de 1:2 en peso ó se puede utilizar morteros con aditivo según 4.10) para dar paso a la colocación del recubrimiento.
- Finalmente se le aplicara una capa de curado para evitar tensiones en el mortero, esto deberá ser controlado por personal calificado para este tipo de reparación.

*Limitaciones:*

- Esta solución sólo efectiva si el hormigón antiguo tiene las características resistentes establecidas por el proyectista y en caso que se trate de un hormigón débil será necesario que un ingeniero estructural proyecte los refuerzos a aplicar a la estructura.
- Los productos para realizar este tipo de reparación no necesariamente tendrán que ser los especificados anteriormente, se podrán utilizar otros productos que cumplan con las mismas características de calidad o mayores, todo esto comprobado con un certificado del producto a utilizar y con su respectivo procedimiento.

### **5.1.0.- MATERIALES PARA LA REPARACION**

#### **5.1.1.- MORTERO DE CEMENTO**

*Composición*

*Cemento:*

Corriente o Alta Resistencia según requisitos de resistencia y velocidad de fraguado.

***Arena:***

Se empleará arena apta para hormigones con tamaño máximo de 2,5 a 5,0 mm según empleo.

***Dosis de Cemento:***

A falta de especificación se emplearán morteros 1:3 en volumen (1 saco de cemento por 100 litros de arena).

***Agua:***

Potable y/o libre de impurezas.

***Dosis:***

la menor posible compatible con condiciones de colocación.

***Aditivos:***

- Expansor para control de retracciones en morteros de relleno.
- Plastificante o fluidificante para morteros fluidos de inyección o grout.
- Aceleradores de fraguado: trabajos rápidos de reparación (empleo limitado en contacto con armaduras.)
- Emulsiones acrílicas: en lechadas de adherencia y aplicación de capas delgadas.

***Nota:***

En cada caso, respetar dosis e instrucciones de aplicación de los fabricantes.

**Requisitos*****Resistencias Mecánicas:***

Igual o superior a la de los elementos que se deben reparar, Cuando no se especifique se recomienda una resistencia a compresión de 300 Kg / cm<sup>2</sup>.

***Bajas Retracciones:***

Los morteros de reparación o de relleno deberán tener una retracción controlada. En general se recomienda el empleo de expansores para compensar la retracción plástica y exudación.

*Trabajabilidad:*

Empleo de morteros secos o ligeramente plásticos (baja razón agua - cemento) en todos los casos en que sea posible su aplicación. Cuando se requieran morteros para inyección o grouting emplear aditivos plastificantes o fluidificantes, manteniendo una razón agua - cemento baja.

*Adherencia:*

Emplear productos de adherencia acrílicos o epóxicos (**ver anexo 4**).

**5.1.2. - MORTERO CON POLÍMEROS****Composición***Definición:*

Son morteros de cemento a los cuales se les adiciona una emulsión de un polímero acrílico o Látex sintético.

Los polímeros actualmente empleados en la elaboración de estas emulsiones son de tres tipos: acrílicos, estireno-butadieno (SBR) y acetato de polivinilo (PVA); estos últimos no son recomendables para aplicación ambiente húmedo permanente.

Las emulsiones de polímeros tienen dos formas de aplicación características.

*Lechadas de Adherencia:*

Utilizadas como puente de adherencia entre el mortero fresco y la base (mortero, hormigón o albañilería).

*Modo de preparación de la lechada de adherencia:*

- Se mezcla cemento y arena fina en proporción 1:1 y luego se agrega la emulsión acrílica diluida en agua en la proporción indicada por el fabricante, mezclando hasta obtener una consistencia cremosa.
- La lechada se aplica con brocha sobre la superficie; el mortero se debe aplicar sobre la lechada fresca antes de una hora.

*Morteros con Polímeros:*

La adición de una emulsión acrílica a morteros de cemento mejora considerablemente algunas de sus propiedades:

- Elevada adherencia a la base (resistencia al corte  $28 \pm 5$  Kgf. / cm<sup>2</sup>)
- Resistencia a compresión a 28 días: 250 a 450 Kgf. / cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a flexotracción a 28 días: 65 a 100 Kgf / cm<sup>2</sup>.
- Módulo de elasticidad en compresión: 250.000 Kgf / cm<sup>2</sup>.
- Baja tendencia a la fisuración.

La dosificación recomendada es de 1:3 a 1:3,5 (en peso) con una razón agua-cemento entre 0.30 y 0.40 (incluida la emulsión acrílica previamente disuelta en el agua.)

Los morteros con polímeros se emplean principalmente en trabajos de reparación y aplicación de capas delgadas.

**5.1.3.- MORTERO PREDOSIFICADOS***Definición:*

Existen en el mercado diversos productos preparados en fábrica o en plantas, que se entregan listos para su empleo o sólo requieren que se agregue agua para su colocación en obra.

*Ventajas:*

Productos de fabricación controlada, dosificación en peso, diseñados para fines específicos. Especialmente adecuados para trabajos de reparación donde se requieren productos de calidad y/o no existen los medios para una confección controlada.

*Tipos:*

- Morteros de reparación de baja retracción: Retracción controlada y/o efecto expansivo.

- Morteros de fraguado rápido: Gran velocidad de endurecimiento para trabajos rápidos.
- Morteros Tixotrópicos: Consistencia adecuada para trabajos en paramentos verticales y sobre cabeza sin correrse.
- Morteros autonivelantes: Morteros fluidos para aplicar en superficie horizontal (pisos).
- Morteros para grout o rellenos: Morteros fluidos, generalmente expansivos para trabajos de inyecciones y rellenos en lugares estrechos.

*Propiedades:*

Las propiedades específicas varían de un producto a otro y entre los distintos fabricantes. En general están caracterizados por su elevada resistencia (sobre 300 Kgf / cm<sup>2</sup>), rápido desarrollo de resistencia, buena adherencia al hormigón y albañilería, baja retracción.

#### **5.1.4.- HORMIGONES**

*Cemento:*

Corriente o Alta Resistencia según requisitos de resistencia y velocidad de fraguado.

*Áridos:*

Deben cumplir requisitos para empleo en hormigones (Nch 163), especialmente composición granulométrica, resistencia y limpieza.

*Tamaño máximo:*

Compatible con espesores y densidad de armaduras de elementos a reparar, a falta de especificación se empleará una mezcla de arena y gravilla de tamaño máximo 20 mm. (3/4").

**Agua:**

Potable y/o libre de sustancias extrañas, sales disueltas o partículas en suspensión.

**Dosificación:**

Según requisitos de resistencia y trabajabilidad indicados por el Ing. calculista. A falta de especificación se empleará una dosis mínima de cemento de 340 Kg/m<sup>3</sup>.

**Aditivos:**

Pueden emplearse distintos productos según requisitos particulares necesarios.

- Resistencia Mecánicas. Igual o superior a la de la estructura que se vaya a reparar. En ningún caso la resistencia podrá ser inferior a 250 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- Retracciones. Deberán ser lo más bajas posibles, lo que se obtiene:
  - Con dosificación adecuada
  - Mínima razón agua-cemento ( $a/c \leq 0,45$ )
  - Obtención de trabajabilidad mediante aditivos plastificantes o fluidificantes.
  - En volúmenes pequeños y confinados, emplear aditivo expansor.

**Trabajabilidad:**

Generalmente se requieren hormigones de elevada docilidad, lo que se obtiene con aditivos plastificantes o fluidificantes. Asentamiento de cono 10 a 20 cm.

**Adherencia:**

Asegurar la unión íntima con los hormigones de la estructura.

- reparaciones estructurales: emplear puente de adherencia epóxico.
- reparaciones superficiales: emplear lechada con emulsión acrílica.

**Confeción, Colocación y Curado:**

Según prescripciones de Nch. 170, extremando las precauciones en cada caso.

### 5.1.5.- ADITIVOS (Jorge Montegú soler)

TIPOS Y DEFINICIONES	PROPIEDADES	APLICACIONES
<p>-Plastificantes.</p> <p>Productos tensoactivos que permiten reducir la razón agua-cemento manteniendo constante la docilidad o bien, aumentar la docilidad con una misma razón agua -cemento. Dosis 0.1 a 0.4% del peso del cemento.</p>	<p>-Mejoramiento de la docilidad (asentamiento de cono).</p> <p>-Aumento de las resistencias por reducción de la cantidad de agua.</p> <p>-Disminución de la retracción plástica e hidráulica.</p>	<p>-Hormigones en general.</p> <p>-Reemplazos de hormigón.</p> <p>-Rellenos de nidos de piedras.</p>
<p>-Fluidificantes.</p> <p>Productos aniónicos que actúan por dispersión de los granos de cemento. Permiten obtener hormigones fluidos con razones agua .cemento bajas o normales. Dosis 0.5 a 1.5 % del peso del cemento</p>	<p>-Aumento considerable de la docilidad.</p> <p>-Baja segregación.</p> <p>-Alta resistencia.</p>	<p>-Hormigones autonivelantes.</p> <p>-Hormigonado de lugares estrechos o de difícil acceso.</p>

TIPOS Y DEFINICIONES	PROPIEDADES	APLICACIONES
<p>-Expansores :</p> <p>Aditivos que reaccionan con compuestos del cemento formando gas generalmente hidrógeno-produciendo un pequeño aumento del volumen. Dosis: 2% del peso del cemento.</p>	<p>-Aumento de la estabilidad plástica (reducen la exudación).</p> <p>-Mejora la docilidad.</p> <p>-Producen un pequeño efecto expansivo (aprox. 3% en pastas y morteros, 1% en hormigones).</p> <p>-La expansión se produce antes del principio de fraguado.</p>	<p>-Rellenos de hormigón en pequeños volúmenes- Nidos de piedras, socialzados.</p> <p>-Rellenos con morteros en cavidades y huecos.</p>
<p>-Aceleradores y retardadores:</p> <p>Productos que reaccionan con algunos compuestos del cemento, acelerando o retardando las reacciones de hidratación. Dosis: variable según efecto.</p>	<p>-Acortar o alargar el inicio del fraguado.</p> <p>-Acelerar el desarrollo inicial de resistencias (1, 3 y 7 días).</p> <p>-Los retardadores generalmente no afectan las resistencias después de 3 días.</p>	<p>-Trabajos rápidos.</p> <p>-Reducir plazos de desencofrado.</p> <p>-Dilatar el inicio del fraguado (retardadores) disponiendo de mayor plazo para la colocación.</p>

<p>-Incorporadores de Aire: Producen microburbujas esféricas de aire, distribuidos en toda la masa del hormigón (efecto tensoactivo). Dosis: 0.03 a 0.10% del peso del cemento.</p>	<p>-Mejorar la resistencia del hormigón a los ciclos de hilo - deshielo.  -Aumento de la docilidad.  -Reducción de la capilaridad.  -Disminución de la resistencia mecánica.</p>	<p>-Hormigones expuestos a ciclos de hielo-deshielo o efecto de sales.  -Hormigón en ambiente marino.</p>
<p>-Aditivos de Adherencia: Aditivos en base a polímeros acrílicos. Dosis: Variable según producto y aplicación.</p>	<p>-Mejorar la adherencia de morteros a la base.  -Reducen la retracción y tendencia a la fisuración.  -Reducen el módulo de elasticidad.</p>	<p>-Morteros de reparación en general.  -Aplicación de capas delgadas.  -Lechadas de adherencia.</p>

(Cuadro 5.8, Jorge Montegu Soler)

**5.1.6. - SISTEMAS EPOXICOS (ver anexo4)***Definiciones*

Productos de origen sintético que endurecen por reacción química entre una resina y un endurecedor.

Las formulaciones habituales incluyen distintos tipos de endurecedores, modificadores, diluyentes y fillers minerales según el caso. Se entregan en 2 ó 3

*Componentes:*

Parte A Resina

Parte B Endurecedor

Parte C Fillers o áridos.

*Dosificaciones:*

- Debe respetarse rigurosamente la proporción resina: endurecedor (A:B) indicada por el fabricante. En la mayoría de los casos se emplean juegos completos predosificados.
- La proporción de parte C (filler) puede ajustarse en obra según consistencia y propiedades requeridas.

Los sistemas epóxicos, dependiendo de cada uso, podrán emplearse en forma de :

- Líquidos más o menos viscosos según la formulación;
- Pastas de consistencia espesa para lo cual se agrega polvo de cuarzo y eventualmente un agente tixotrópico;
- Morteros epóxicos: agregando a la mezcla resina-endurecedor una arena, generalmente cuarzo, de una determinada granulometría. La proporción entre Resina + Endurecedor y Arena varía entre 1:1 y 1:10 en peso.

$$\frac{A + B}{C} = 1:1 \text{ a } 1:10$$

*Propiedades:**Viscosidad:*

La viscosidad de los sistemas epóxicos puros (sin filler) puede variar entre 100 y 2500 centipoise (cps) a 20°C, según la formulación. La viscosidad puede aumentarse con fillers para formar pastas tixotrópicas; a la inversa, para trabajos de inyección se requiere de productos de baja viscosidad.

*Velocidad de Reacción :*

Condiciona el pot-life o tiempo de endurecimiento inicial y el desarrollo de resistencia en plazos cortos. Depende de la formulación, temperatura y volúmenes de mezclas. En general se alcanzan altas resistencias a edades tempranas con posibilidades de puesta en servicio dentro de los 3 primeros días. Las reacciones son exotérmicas, lo que puede limitar los volúmenes a preparar.

*Retracciones :*

- Endurecimiento prácticamente sin retracción.
- Propiedades mecánicas (a 7 días.)
- Resistencia a compresión 400 a 1.000 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a flexotracción 200 a 800 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- Adherencia al acero sobre 200 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- Adherencia al hormigón sobre 50 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- (Rotura del hormigón.)
- Módulo de elasticidad 10.000 a 350.000 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- (Según formulación y contenido de filler.)

*Sensibilidad Térmica :*

La temperatura de aplicación influye sobre la viscosidad y velocidad de reacción. Los cambios de temperatura posteriores intervienen en las deformaciones. El coeficiente de dilatación térmica varía de 4.5 a 6.5 X 10<sup>-5</sup> , valor que disminuye considerablemente con la adición de fillers.

Eventualmente las temperaturas altas pueden disminuir el módulo de elasticidad.

*Normativa :*

La Norma ASTM C881 - 78 "EPOXI-RESIN-BASE BONDING SYSTEMS FOR CONCRETE" clasifica los productos en Tipo, Grado y Clase, según propiedades basadas en su empleo, como viscosidad, resistencia, adherencia, retracción y compatibilidad térmica.

## **CAPITULO VI**

### **PROTOCOLOS DE CALIDAD**

#### **6.1.- INTRODUCCIÓN**

En el siguiente capítulo veremos que algunas estructuras dañadas normalmente pueden recuperarse por medio de algún método de reparación específico, asignándole este el profesional calificado para dicho procedimiento.

A veces para las reparaciones se suele recurrir retapes superficiales las cuales no le entregan ningún tipo de seguridad a la estructura dañada, como también demoliciones y refuerzos injustificables, todo esto puede causar una inseguridad en la estructura ,como también un alto costo de reparación para el cliente o la empresa ejecutante de un proyecto cualquiera.

Con el objeto de garantizar la calidad de la ejecución de un proyecto en todas sus etapas, acorde con los objetivos de protección establecidos por la institución propietaria de la obra, se deberán elaborar documentos que aseguren la calidad de de la reparación o refuerzo de los elementos de hormigón que se encuentren dañados por algunas de las causas mencionadas en el capítulo II de la presente memoria, este documento es conocido como “protocolos de calidad” ó Fichas de ejecución y control (FEC).

## 6.2.- PROTOCOLOS DE CALIDAD EN REPARACIÓN DE DISTINTOS

### ELEMENTOS DE HORMIGÓN

	<b>REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN</b>	Proyecto:
	<b>REPARACIÓN DE FISURAS</b>	Nº contrato:
	<b>PROTOCOLO Nº</b>	Fecha:

	<u>Edificación / Sección / Nivel / Ejes / Elemento</u>	<u>H Tipo</u>	<u>Detalle, ubicación, reparación</u>
<b>A</b>			
<b>B</b>			
<b>C</b>			
<b>D</b>			
<b>E</b>			
<b>F</b>			

ACTIVIDAD	ESTÁNDAR	TIPO REV.	RESP	CODIGO DE ELEMENTOS						VISTO BUENO	
				A	B	C	D	E	F	Resp	ITO

**PRELIMINARES**                      **Fecha:**

1	Definición area de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
2	Verificación daño estructural	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
3	Factibilidad de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									

4	Limpieza Superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional residente									
5	Uso de los equipos y herramientas adecuados	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
6	Limpieza con aire comprimido	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
7	Sellado superficial de fisura o grieta, con masilla epóxica	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional residente									
8	Colocación de boquillas	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional residente									
9	Inyección a presión del sistema epoxico	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional residente									
10	Recepción primaria: Plomos y textura superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
11	Recepción Final: Terminación	De acuerdo a planos	Visual	sup. Obra									
12	Extracción de testigo	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup. Obra									

**NOTA:** En espacio sombreado escribir C = Cumple    NC = No Cumple    NA = No Aplica    S = Se Requiere  
 Cuando alguna etapa se califique como NC, deberá aparecer en observaciones el chequeo y conformidad del ítem, con firma y fecha del responsable

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
 Profesional residente  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Supervisor de obra  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Inspector de obra  
 Nombre y firma

	<b>REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN</b>	Proyecto:
	<b>Nidos- Rellenos zonas defectuosas- Fallas superficiales</b>	Nº contrato:
	<b>PROTOCOLO Nº</b>	Fecha:

	Edificación / Sección / Nivel / Ejes / Elemento	H Tipo	Detalle, ubicación, reparación
A			
B			
C			
D			
E			
F			

ACTIVIDAD	ESTÁNDAR	TIPO REV.	RESP	CODIGO DE ELEMENTOS						VISTO BUENO	
				A	B	C	D	E	F	Resp	ITO

**PRELIMINARES** **Fecha:**

1	Definición area de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
2	Verificación daño estructural	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
3	Factibilidad de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									

4	Limpieza Superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
5	Recepción picado	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
6	Varificación moldaje	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
7	Preparación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
8	Aplicación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
9	Preparación mortero	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
10	Aplicación mortero	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
11	Recepción primaria: Plomos y textura superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
12	Recepción Final: Terminación y curado	De acuerdo a planos	Visual	sup. Obra									
13	Extracción de testigo	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup. Obra									

**NOTA:** En espacio sombreado escribir C = Cumple NC = No Cumple NA = No Aplica S = Se Requiere  
 Cuando alguna etapa se califique como NC, deberá aparecer en observaciones el chequeo y conformidad del ítem, con firma y fecha del responsable

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
 Profesional recidente  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Supervisor de obra  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Inspector de obra  
 Nombre y firma

	<b>REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN</b>	Proyecto:
	<b>Demolición y Reposición</b>	Nº contrato:
	<b>PROTOCOLO Nº</b>	Fecha:

	Edificación / Sección / Nivel / Ejes / Elemento	H Tipo	Detalle, ubicación, reparación
A			
B			
C			
D			
E			
F			

ACTIVIDAD	ESTÁNDAR	TIPO REV.	RESP	CODIGO ELEMENTOS						VISTO BUENO	
				A	B	C	D	E	F	Resp	ITO

PRELIMINARES				Fecha:									
1	Definición area de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
2	Verificación daño estructural	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
3	Factibilidad de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									

REPARACIÓN				Fecha:									
4	Limpieza Superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
5	Recepción picado	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
6	Varificación moldaje	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
7	Preparación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
8	Aplicación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
9	Preparación Hormigón	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
10	Aplicación Hormigón	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
11	Recepción primaria: Plomos y textura superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
12	Recepción Final: Terminación y curado	De acuerdo a planos	Visual	sup. Obra									
13	Extracción de testigo	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup. Obra									

**NOTA:** En espacio sombreado escribir C = Cumple NC = No Cumple NA = No Aplica S = Se Requiere  
 Cuando alguna etapa se califique como NC, deberá aparecer en observaciones el chequeo y conformidad del ítem, con firma y fecha del responsable

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
 Profesional recidente  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Supervisor de obra  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Inspector de obra  
 Nombre y firma

	<b>REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN</b> <b>Reparación con pletina metálica</b> <b>PROTOCOLO N°</b>	Proyecto:
		N° contrato:
		Fecha:

	Edificación / Sección / Nivel / Ejes / Elemento	H Tipo	Detalle, ubicación, reparación
A			
B			
C			
D			
E			
F			

ACTIVIDAD	ESTÁNDAR	TIPO REV.	RESP	CODIGO ELEMENTOS						VISTO BUENO	
				A	B	C	D	E	F	Resp	ITO

PRELIMINARES		Fecha:									
1	Definición area de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra								
2	Verificación daño estructural	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra								
3	Factibilidad de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra								

REPARACIÓN		Fecha:									
4	Limpieza Superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente								
5	Lotes de fabricación de los materiales	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra								
6	Uso de los equipos y herramientas adecuados	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra								
7	Preparación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente								
8	Mezclado del epóxico	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente								
9	Aplicación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente								
10	Aplicación del epoxico sobre la platina	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente								
11	Aplicación de la pletina	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente								
12	Colocación de pernos		profesional recidente								
13	Recepción primaria: Plomos y textura superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra								

**NOTA:** En espacio sombreado escribir C = Cumple NC = No Cumple NA = No Aplica  
 Cuando alguna etapa se califique como NC, deberá aparecer en observaciones el rechequeo y conformidad del ítem, con firma y fecha del responsable

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
 Profesional recidente  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Supervisor de obra  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Inspector de obra  
 Nombre y firma

	<b>REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN</b>	Proyecto:
	<b>Reparación con fibra carbono</b>	Nº contrato:
	<b>PROTOCOLO Nº</b>	Fecha:

	Edificación / Sección / Nivel / Ejes / Elemento	H Tipo	Detalle, ubicación, reparación
A			
B			
C			
D			
E			
F			

ACTIVIDAD	ESTÁNDAR	TIPO REV.	RESP	CODIGO ELEMENTOS						VISTO BUENO	
				A	B	C	D	E	F	Resp	ITO

**PRELIMINARES**

**Fecha:**

1	Definición area de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
2	Verificación daño estructural	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
3	Factibilidad de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									

**REPARACIÓN**

**Fecha:**

4	Limpieza Superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
5	Lotes de fabricación de los materiales	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
6	Uso de los equipos y herramientas adecuados	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
7	Preparación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
8	Mezclado del epóxico	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
9	Aplicación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
10	Aplicación del epoxico sobre la Fibra carbono	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
11	Aplicación de la Fibra carbono sobre el elemento a reparar	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente									
12	Recepción primaria: Plomos y textura superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra									
13	Recepción Final: Terminación y curado	De acuerdo a planos	Visual	sup. Obra									
14	Extracción de testigo	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup. Obra									

**NOTA:** En espacio sombreado escribir C = Cumple NC = No Cumple NA = No Aplica S = Se Requiere  
 Cuando alguna etapa se califique como NC, deberá aparecer en observaciones el rechequeo y conformidad del ítem, con firma y fecha del responsable

Observaciones:

Profesional recidente  
Nombre y firma

Supervisor de obra  
Nombre y firma

Inspector de obra  
Nombre y firma

	<b>REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN</b>	Proyecto:
	<b>Reparación con fibra de vidrio</b>	N° contrato:
	<b>PROTOCOLO N°</b>	Fecha:

	Edificación / Sección / Nivel / Ejes / Elemento	H Tipo	Detalle, ubicación, reparación
<b>A</b>			
<b>B</b>			
<b>C</b>			
<b>D</b>			
<b>E</b>			
<b>F</b>			

ACTIVIDAD	ESTÁNDAR	TIPO REV.	RESP	CODIGO DE ELEMENTOS						VISTO BUENO	
				A	B	C	D	E	F	Resp	ITO

**PRELIMINARES**      **Fecha:**

1	Definición area de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra								
2	Verificación daño estructural	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra								
3	Factibilidad de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra								

**REPARACIÓN**      **Fecha:**

4	Limpieza Superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente								
5	Lotes de fabricación de los materiales	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra								
6	Uso de los equipos y herramientas adecuados	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra								
8	Mezclado del epóxicos	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente								
9	Aplicación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente								
10	Aplicación del epoxico sobre el elemento a reparar	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente								
11	Colocación de malla fibra de vidrio	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente								
12	Aplicación del epoxico sobre la Fibra de vidrio	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente								
13	Aplicación de la sobremalla de fibra de vidrio sobre el elemento a reparar	De acuerdo a procedimiento	Visual	profesional recidente								
14	Recepción primaria: Plomos y textura superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup.obra								
15	Recepción Final: Terminación y curado	De acuerdo a planos	Visual	sup. Obra								
16	Extracción de testigo	De acuerdo a procedimiento	Visual	sup. Obra								

**NOTA:** En espacio sombreado escribir C = Cumple NC = No Cumple NA = No Aplica S = Se Requiere  
 Cuando alguna etapa se califique como NC, deberá aparecer en observaciones el chequeo y conformidad del ítem, con firma y fecha del responsable

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
 Profesional recidente  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Supervisor de obra  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Inspector de obra  
 Nombre y firma

	<b>REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN</b> <b>Reparación con ferrocemento</b> <b>PROTOCOLO N°</b>	Proyecto:
		N° contrato:
		Fecha:

	Edificación / Sección / Nivel / Ejes / Elemento	H Tipo	Detalle, ubicación, reparación
A			
B			
C			
D			
E			
F			

ACTIVIDAD	ESTÁNDAR	TIPO REV.	RESP	CODIGO DE ELEMENTOS						VISTO BUENO	
				A	B	C	D	E	F	Resp	ITO

PRELIMINARES				Fecha:									
1	Definición area de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra										
2	Verificación daño estructural	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra										
3	Factibilidad de reparación	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra										

REPARACIÓN				Fecha:									
4	Limpieza Superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente										
5	Recepción picado	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra										
6	Lotes de fabricación de los materiales	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra										
7	Uso de los equipos y herramientas adecuados	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra										
8	Mezclado del epóxicos	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente										
9	Aplicación puente de adherencia	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente										
10	Colocación de barra de acero	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente										
11	Colocación de malla ACMA	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente										
12	Colocación de malla hexagonal	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente										
13	Preparación mortero	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente										
10	Aplicación mortero	De acuerdo a procedimiento	Visual profesional recidente										
15	Recepción primaria: Plomos y textura superficie	De acuerdo a procedimiento	Visual sup.obra										
16	Recepción Final: Terminación y curado	De acuerdo a planos	Visual sup. Obra										
17	Extracción de testigo	De acuerdo a procedimiento	Visual sup. Obra										

**NOTA:** En espacio sombreado escribir C = Cumple NC = No Cumple NA = No Aplica S = Se Requiere  
 Cuando alguna etapa se califique como NC, deberá aparecer en observaciones el rechequeo y conformidad del ítem, con firma y fecha del responsable

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
 Profesional recidente  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Supervisor de obra  
 Nombre y firma

\_\_\_\_\_  
 Inspector de obra  
 Nombre y firma

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES**

Después de haber analizado y profundizado en la reparación, reforzamiento y restauración de las estructuras de hormigón armado se llega a las siguientes conclusiones:

Es necesario tener en constante capacitación a las personas que trabajen dentro de una organización y además tener una referencia de los distintos proveedores de la empresa y calificarlos, así como también a cualquier entidad que tenga responsabilidad directa o indirectamente en el proceso de ejecución de cualquier producto que este desarrollando la empresa.

Es de vital importancia identificar, evaluar, y diagnosticar las fallas en los distintos elementos de hormigón armado, para analizar la factibilidad de la reparación, reforzamiento o restauración, dependiendo estas de los estudios que realizara el encargado de calidad capacitado para asignarle la respectiva solución.

Al Implementar para cada tipo de falla un sistema óptimo de reparación se hace mas fácil para las empresas tener una herramienta donde apoyarse para gestionar y controlar las reparaciones de elementos de hormigón para entregar un producto de buena calidad.

Para darle una estabilidad, durabilidad y seguridad a las reparaciones en las diferentes estructuras de hormigón es necesario gestionar una serie de protocolos referentes a los sistemas de reparación donde estos tendrán como objetivos un control total de los sistemas utilizados para las reparaciones.

En el momento que una empresa quiera implantar un sistema de calidad para sus funcionarios, es importante que deleguen funciones de tal modo que se produzca una descentralización en la empresa y además entregar individualmente una responsabilidad dentro de la realización de un producto.

Y finalmente podemos concluir con respecto a los documentos de calidad generados los cuales se denominan protocolos de calidad o fichas técnicas de ejecución y control(FEC), que esta es una herramienta efectiva de controlar la calidad debido a una serie de responsabilidades que adquieren los distintos encargados de calidad, y a la vez con estos documentos pueden generarse planes de corrección a corto plazo en los casos que así se requiera, debiendo las empresas implementar un departamento de calidad, con personal idóneo y profesionalmente capacitado para así lograr una efectividad en el proceso de reparaciones.

## ANEXO 1

### FIBRA DE CARBONO

EL REFUERZO CON FIBRAS de carbono se ha usado durante más de veinticinco años en la industria aeroespacial y en otras donde se requieren propiedades de peso ligero, alta resistencia a tensión y el uso de materiales no corrosivos.

Estos materiales que se adhieren externamente en estructuras de hormigón y mampostería presentan una fluencia y elongación baja y, comparados con el acero, son de menor peso, más ligeros y tienen diez veces su capacidad de resistencia y tensión.



*1. Una vez saneadas y reconstruidas las vigas, se procede a una imprimación previa.*

El elemento fundamental del sistema de refuerzo con este tipo de fibras son las propias láminas, orientadas en forma unidireccional y recubiertas con una matriz epoxi. Estas láminas, reconocidas por su alta relación resistencia/espesor, establecen una integridad estructural de manera similar a la de adherir bandas de acero a elementos estructurales.

El resultado es una gran flexibilidad para mejoras estructurales, así como un ahorro importante en costos, comparado con otros métodos convencionales.

<b>lámina de fibra de carbono</b>	
<b>Características</b>	
Espesor de hoja	0.117 mm.
Peso de hoja	200 g/m <sup>2</sup>
Densidad de fibra	1.7 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	240.000 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a tracción por ancho (N/10 mm.)	4.450 N/10 mm.
Resistencia a tracción (N/mm <sup>2</sup> )	3.900 N/mm <sup>2</sup>
Elongación última	1.55 %
Fuerza de tracción s./límite	42 KN s./límite = 0,6 %
Tensión de tracción s./límite	1.200 N/mm <sup>2</sup> s./límite = 0,6 %

Debido a las propiedades descritas en la tabla anterior, las fibras de carbono tienen la característica de poseer una gran resistencia a la tracción. Esto permite su uso en diferentes formas, como telas flexibles o láminas rígidas para recuperar o reparar diferentes elementos estructurales, principalmente sometidos a flexión.

### ÁREAS DE APLICACION

Cuando se aplica en VIGAS de hormigón las láminas refuerzan ante deficiencias a flexión o a cortante. Por ejemplo, una grieta de 6 mm de profundidad reduciría la capacidad de carga de la viga y la posibilidad de soportar mayor deflexión. Reforzada de extremo a extremo, la capacidad de una de ellas puede igualar, o sobrepasar, a la de su diseño de origen. Estos elementos pueden estar situados, indistintamente, en puentes (peatonales, prefabricados y de acero), estructuras para garage, aplicaciones industriales y estructuras elevadas.



2. Nivelar las vigas, la saturación de las bandas de carbono y su posterior colocación.



3. Finalmente, se aplican las láminas de fibras, quedando listo el refuerzo.

En *Paredes* solucionan la necesidad de refuerzo en muros de hormigón y mampostería que se derivan de cargas excesivas en plano o fuera de plano y la presión debida a impactos. Así, puede utilizarse en los muros con esfuerzo cortante, en los tanques, trincheras y canaletas, y en los fosos de ascensores. Sirven, igualmente, para estructuras industriales expuestas a cargas por explosiones y para mejoras antisísmicas.

Cuando se aplica a *pilares*, este sistema proporciona resistencia a flexión y en confinamiento. Es ideal para soporte de cargas en pilares cuando se necesitan refuerzos sísmicos, aplicaciones en infraestructura, puentes, estructuras para garage y muelles.

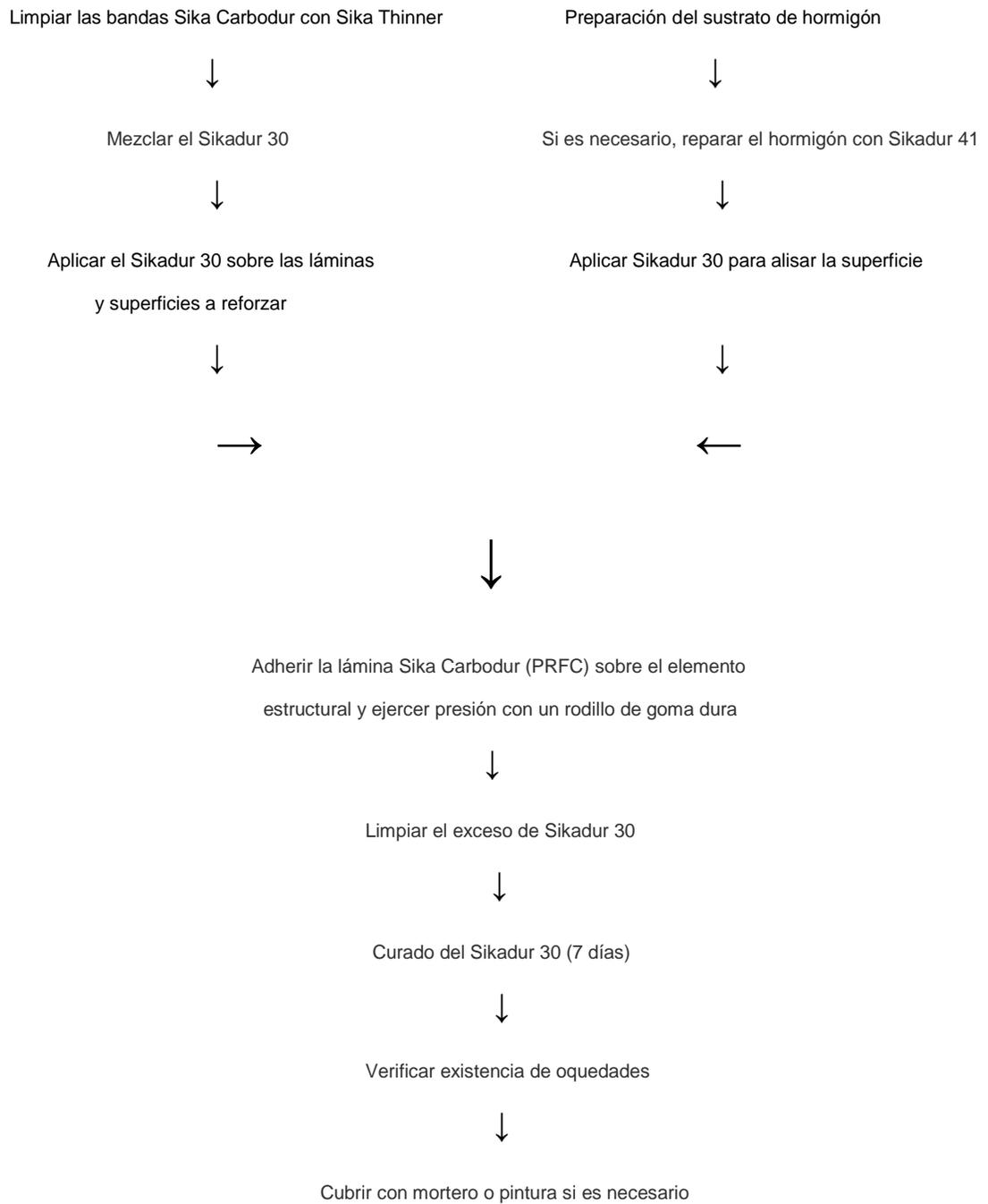
En *tubería y túneles* se satisfacen las necesidades de refuerzo para cargas laterales y de flexión, así como los refuerzos en el perímetro.

En cuanto a *silos y tanques*, su reparación con estas membranas permiten cumplir también con los requerimientos para evitar esfuerzos perimetrales excesivos y la propagación de grietas en estructuras hidráulicas. Finalmente, su uso en *chimeneas* cubre los requisitos de refuerzos exigidos por la deflexión excesiva debido a cargas de viento y esfuerzos de confinamiento.

También hay que destacar que pueden aplicarse igualmente en el exterior de las losas, tanto si las fisuras están orientadas en uno como en doble sentido, para aumentar las cargas de servicio y controlar las deflexiones. Si se utilizan en la superficie inferior, incrementan la capacidad de carga y la deflexión.

## ANEXO 2

### SISTEMA SIKA CARBODUR. ESQUEMA DE LOS TRABAJOS A REALIZAR.



## ANEXO 3

### FIBRA DE VIDRIO

El vidrio es la fibra más utilizada, siendo además la de menor costo. Los materiales compuestos reforzados con fibras de vidrio tienen las siguientes características favorables:

- buena relación resistencia/peso;
- buena estabilidad dimensional;
- buena resistencia al calor, al frío, a la humedad y a la corrosión y
- buenas propiedades aislantes eléctricas.

Las tres clases más importantes de vidrio utilizados para fabricar fibras para materiales compuestos son los vidrios E para usos eléctricos, los vidrios S para refuerzos extremos y los C para resistencia a al corrosión.

De las tres fibras, el E-VIDRIO es la materia del refuerzo más común utilizado en estructuras civiles. Se produce de borosilicato de calcio y de aluminio que se obtiene fácilmente debido a la abundancia de materias primas como la arena, son los más utilizados en la fabricación de fibras continuas. El vidrio E no modificado tiene una resistencia a la tracción de 3,44 GPa y un módulo de elasticidad de 72,3 GPa.

Los vidrios S tienen una relación resistencia/peso más alta y son más caros que los vidrios E. Estos vidrios se utilizan principalmente en aplicaciones militares y aeroespaciales.

<b>Propiedades Típicas*</b>	<b>E-Glass</b>	<b>S-Glass</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.60	2.50
Modulo de Young (GPa)	72	87
Tensión Admisible (GPa)	1.72	2.53
Tensión de Alargamiento (%)	2.4	2.9

Las fibras de vidrio, desarrolladas en la forma de tejidos de distintos tamaños, permiten que, uniendo la alta resistencia a la tracción de este material y la posibilidad de adaptarse a distintas formas arquitectónicas junto al desarrollo de resinas epóxicas como puente de adherencia y elemento de terminación y protección, se puedan resolver numerosos problemas de daños con increíble facilidad y eficiencia.



*Foto1- 2 Aplicación de la malla de fibra de vidrio en una viga sobre la resina de impregnación*

## ANEXO 4

### REFERENCIA TÉCNICA

#### ADHESIVOS EPÓXICOS

#### I. Descripción

*Adhesivo de contacto en base a resinas epóxicas y cargas inactivas:*

Se utiliza normalmente, dependiendo de su composición como:

Adhesivo para anclajes y pegado de materiales de construcción (hormigón acero y madera), adhesivos para la unión de hormigón o mortero fresco con endurecido y, como resina para inyección de grietas en hormigones y morteros.

#### II. Requisitos Normados

##### Adhesivo para anclajes y pegado de materiales de construcción

###### REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Emisor: ASTM

Referencia: D-695

Resistencia a la Compresión	Valores admisibles en kgf/cm <sup>2</sup>		
	5°C	23°C	32°C
<b>compresión</b>			
3 días	620	620	740
7 días	680	740	740
14 días	680	740	800

###### REQUISITOS MECÁNICOS

Emisor: ASTM

Referencia: C-882

Descripción	Unidad	Valores de Referencia
Resistencia a la Flexotracción a los 14 días en kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	500
Adherencia		
2 días de curado seco	kgf/cm <sup>2</sup>	340
(a 22°C)		
2 días de curado húmedo	kgf/cm <sup>2</sup>	186
14 días de curado húmedo	kgf/cm <sup>2</sup>	283
Adherencia por tracción al hormigón	kgf/cm <sup>2</sup>	30 - 35
Módulo de Elasticidad	kgf/cm <sup>2</sup>	43.000
Adherencia al acero	kgf/cm <sup>2</sup>	150
Fuerza de arrancamiento (Barra de anclaje en hormigón (A63-42H, Ø 12 mm, L = 18 cm)	kgf	6.400

**Adhesivos para la unión de hormigón fresco con endurecido:****REQUISITOS MECÁNICOS**

Descripción		Unidad	Valores de Referencia
Adherencia al hormigón		N/mm <sup>2</sup>	2,5 - 3
Adherencia al acero		N/mm <sup>2</sup>	18 - 20
Resistencia	Compresión	N/mm <sup>2</sup>	60 – 70
Mecánica	Flexión	N/mm <sup>2</sup>	30 - 35
	Tracción	N/mm <sup>2</sup>	18 - 20

**Resina epóxica para inyección de grietas****REQUISITOS MECÁNICOS**

Resistencias Mecánica (10 días a 20°C y hr 65%)		Unidad	Valores de Referencia
Compresión		kg/cm <sup>2</sup>	530
Flexión		kg/cm <sup>2</sup>	500
Tracción		kg/cm <sup>2</sup>	250
Adherencia al hormigón		kg/cm <sup>2</sup>	40
Adherencia al acero		kg/cm <sup>2</sup>	10
Módulo de elasticidad		kg/cm <sup>2</sup>	10.600
Coeficiente de expansión térmica		1/°C	89 × 10 <sup>-6</sup>
Viscosidad a 20°C		MPa.s	500

**III. Recomendaciones**

Para la especificación de Adhesivos Epóxicos, se deben tener en consideración los siguientes aspectos:

- Establecer en la especificación si el puente adherente estará destinado a unir: materiales diferentes, superficies de hormigón fresco con endurecido o, de la reparación de grietas en superficies de hormigón o mortero.
- Los adhesivos en base a Resinas Epóxicas requieren el uso de elementos de seguridad personal para su aplicación.
- Los adhesivos en base a Resinas Epóxicas tienen un tiempo limitado de almacenado y sellado en su envase original, para lo cual se recomienda seguir las instrucciones del fabricante al respecto.

- Establecer con claridad el uso específico de un determinado Adhesivo Epóxico, verificando que lo que se especifica, es efectivamente aplicable a la situación que se está presentando.

## BIBLIOGRAFIA

ACI 224.1R-93. Causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón; Causas y control de la fisuración. Informado por el comité ACI 224. 24pp.

Bustamante V., S.2004.Reforzo de vigas de hormigón armado empleando ferrocemento. Tesis ing. civil. Valdivia, univ. Austral de Chile, Fac. Cien. De la Ing.109p.

Catalogo Sika, soluciones con sistemas Sika, Reforzamiento a cortante con sistemas de materiales compuestos Sika Carbodur.

Carlson, Roy W.; Houghton, Donald L.; y Polivka, Milos(1979), "Causes and Control of Cracking in Unreinforced Mass Concrete," ACI Journal, *Proceedings*, V. 76, No. 7, Julio, pp. 821-837. .(Citado por ACI 224.1R-93)

Dakhil, Fadh H.; Cady, Philip D. y Carrier, Roger E. (1975), "Cracking of Fresh Concrete as Related to Reinforcement," ACI Journal, *Proceedings*, V. 72, No. 8, Agosto, pp. 421-428. .(Citado por ACI 224.1R-93).

Ebensperger M., L, .2003 Fisuras en Hormigones: Su caracterización y reparación. Revista BIT. (Marzo): 60-61.

Montegú., S., J. Técnicas de reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado y albañilería: Diagnóstico y soluciones, procedimientos constructivos, materiales de reparación (monografías). Santiago, Chile: Universitaria,s.f. 38p(Aportes técnicos(instituto chileno del cemento y del hormigón).

Manual Productos Cave Chile, versión en CD para PC, Especificaciones técnicas, fichas técnicas, Noviembre2004.

Ortiz., D.2002. Nuevas tecnologías de recuperación y reparación de estructuras de hormigón armado. Revista BIT. (marzo): 46-47.

Price, Walter H. (1982), "Control of Cracking During Construction," *Concrete International: Design and Construction*, V. 4, No. 1, Enero, pp. 40-43.(Citado por ACI 224.1R-93).

Pickett, Gerald (1956), "Effect of Aggregate on Shrinkage of Concrete," *ACI Journal, Proceedings*, V. 52, No. 5, Enero, pp. 581-590. .(Citado por ACI 224.1R-93).

Ratto D.,C,J .2000 Durabilidad de las estructuras de hormigón armado. Revista BIT. (Junio): 21-22.

Ratto D.,C,J .2000 Durabilidad de las estructuras de hormigón armado. Revista BIT. (Junio): 21-22.

Sika. Estructuras de hormigón reforzadas externamente con los sistemas SIKA CARBODUR Y SIKA WRAP. . Consultado el: 01 de Abril 2006

Disponible en : <http://www.sika.com.ar/tecnologia.asp?idtecnologia=20>

Consultado el: 01 de Abril 2006.

Tolozá S., L. A.2005. Recuperación de estructuras de hormigón en base a CFRP(Polímero reforzado con fibra de carbono) .Tesis Constructor civil. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. Cien. De la Ing. 114p.

Vergara M., C.2004. Protocolos para revestimiento exterior, optimización a futuro del control de calidad para obtención de altos estándares de calidad en los procesos constructivos.Tesis Constructor civil. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. Cien. De la Ing. 48p.

Vergara M., H.2004. Protocolos para revestimiento interior para su aplicación en obra para el correcto control de calidad.Tesis Constructor civil. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. Cien. De la Ing. 148p.

VALCUENDE, M., BENLLOCH, J. y PARRA, C. Estudio Experimental de Piezas Lineales de Hormigón Reforzadas con Fibras de Carbono. . Inf. tecnol.. [online]. 2004, vol.15, no.6 ,p.23-28.

Disponible en: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642004000600004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000600004&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0718-0764.

Consultado: 01Abril 2006