



UN-A-CH
BIBLIOTECA CENTRAL UNIVERSITARIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS
DE CONCRETO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA
(CONSTRUCCIÓN)**

PRESENTA

ING. MARÍA GUADALUPE MENDOZA PADILLA

DIRECTOR DE TESIS:
M.I. JORGE ALFREDO AGUILAR CARBONEY

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; OCTUBRE 2012



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
04 de Octubre de 2012
OFICIO F.I.01.684/2012.

ING. MARÍA GUADALUPE MENDOZA PADILLA
ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
PRESENTE.

Por este medio comunico a Usted, que se le autoriza la impresión de su trabajo de tesis denominado: "Reparación de Estructuras de Concreto. Caso de estudio Rectoría de la UNACH", para que pueda continuar con los trámites de titulación para la obtención del Grado de Maestro en Ingeniería en Construcción.

Sin otro particular por el momento, aprovecho el medio para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"


DR. FRANCISCO ALBERTO ALONSO FARRERA
DIRECTOR



DIRECCIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

AGRADECIMIENTOS:

Es mi deseo, como un sencillo gesto de agradecimiento, dedicar este trabajo en primer lugar a Dios Todopoderoso por haberme dado la existencia y permitido llegar al final de la realización de una de las metas más importantes en mi vida; pero sobre todo a quienes creyeron en mí, a toda la gente que me apoyó, a mis padres que fueron pilares fundamentales en mi educación y formación como persona, a mis hijas quienes participaron conmigo en este logro, a mi esposo por su apoyo moral y comprensión, a mis entrañables hermanos, familiares y amigos que me brindaron su atención, ayuda y lo más importante su amistad.

Agradezco a todos los docentes que me acompañaron en mi largo camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación como estudiante universitario.

De igual manera, mi agradecimiento a mi Asesor quién me ha orientado en todo momento en la realización de este proyecto que enmarca un escalón hacia el futuro en donde sea partícipe en el mejoramiento del proceso de enseñanza y aprendizaje y a nuestra casa de estudios por haberme dado la oportunidad de ingresar al Sistema de Educación Superior y cumplir este gran sueño.

A todos, que de una u otra forma colocaron un granito de arena para el logro de este trabajo, agradezco de forma sincera su colaboración.

RESUMEN

El concreto simple o reforzado es un material que durante años ha demostrado su eficacia y durabilidad y, por su consistencia plástica durante su fabricación puede adaptarse a una gama impresionante de formas geométricas en la industria de la construcción.

El presente trabajo es resultado de la investigación de los diferentes materiales y métodos que se utilizan en la industria de la construcción para la reparación de estructuras de concreto dañadas por diversas acciones mecánicas, físicas, químicas, biológicas y sismos que afectan a las estructuras y que modifican su comportamiento y resistencia.

Es sorprendente el avance de la industria química en la investigación de nuevos materiales para la reparación y reforzamiento de estructuras de concreto y que proporciona materiales como los laminados y resinas epóxicas que satisfacen todas las necesidades que, como constructores exigimos para regresar a las estructuras sus características originales de diseño.

La Patología del concreto desempeña un papel importante en la determinación de los daños y causas de la pérdida de integridad de una estructura aportando datos basados en la inspección de la misma y aplicando, cuando es necesario pruebas no destructivas y destructivas de los elementos de concreto para determinar las condiciones en que se encuentra un elemento, el resultado de esta disciplina proporciona una guía valiosa para determinar si la estructura debe ser reparada o reforzada.

La industria de la construcción por su parte ha desarrollado nuevos métodos de reparación apoyados en un conocimiento científico y experiencia adaptables a cada situación particular, es por ello que en el presente trabajo se analiza el reforzamiento del edificio de la Rectoría de la Universidad Autónoma de Chiapas afectada por un sismo de graves consecuencias en 1995 y que en la actualidad presenta una buena respuesta a fenómenos naturales de diversa naturaleza.

Summary

The simple or reinforced concrete has demonstrated how lasting it is for decades. Due to his plastic consistency during his manufacture, it can be adapted to an impressive range of geometric forms in the construction industry.

This document presents the results of the research about different materials and the methods used in the construction industry to repair concrete structures damaged by diverse mechanical, physical, chemical and biological actions as well as earthquakes, that affect these structures and modify their behavior and resistance.

It is surprising the huge variety of new materials developed to repair and reinforce concrete structures such as laminates and epoxic resins that satisfy all the necessities that constructions require to go back to their original design.

Concrete pathology has a very important role in the determination of the causes and damage of the structure's loss of integrity, giving information based on its inspection and, if necessary, applying destructive and non-destructive tests on the concrete's elements, to determine the conditions of an element. The results provide a valuable guide to determine if a structure should be repaired or reinforced.

The construction industry has developed new repair methods, based on scientific knowledge and experience adaptable to each particular situation. This document analyses the reinforcement of the Rectoría de la Universidad de Chiapas' building, affected by the strong 1995 earthquake that presently shows a good response to different natural phenomena

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 ANTECEDENTES	2
I.2 OBJETIVO GENERAL	2
I.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
I.4 ALCANCE	3
I.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1. MECANISMOS DE DAÑO (CAPÍTULO 1)	5
1.1 ACCIONES FÍSICAS	6
1.2 ACCIONES MECÁNICAS	7
1.3 ACCIONES QUÍMICAS	14
1.4 ACCIONES BIOLÓGICAS	22
1.5 EFECTO DE LOS SISMOS	24
2. PATOLOGÍA DEL CONCRETO (CAPÍTULO 2)	27
2.1 INSPECCIÓN PRELIMINAR	28
2.2 INSPECCIÓN DETALLADA	31
3. MATERIALES DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO (CAPÍTULO 3)	39
3.1 RESINAS EPÓXICAS	40
3.2 ADHESIVOS Y PRIMER	41

3.3 LECHADAS Y MORTEROS	41
3.4 CONCRETOS	44
3.5 PLACAS METÁLICAS O PERFILES	45
3.6 FIBRAS (LAMINADOS)	45
3.7 GRAPAS	45
3.8 ACERO GALVANIZADO	46
4. MÉTODOS DE REPARACIÓN PARA ESTRUCTURAS	
DE CONCRETO (CAPÍTULO 4)	53
4.1 ENCAMISADOS DE ACERO	54
4.2 PERFILES METÁLICOS, PLACAS Y BANDAS DE ACERO	55
4.3 EMPAQUETADO EN SECO	57
4.4 CONCRETO LANZADO	58
4.5 GRAPADO	59
4.6 PARCHEO	60
4.7 ENCAMISADOS DE CONCRETO	60
4.8 FIBRAS DE VIDRIO, CARBONO Y ARAMIDA	61
4.9 MÉTODO DE INYECCIÓN	61
4.10 POSTENSADO	63
4.11 DISIPADORES DE ENERGÍA	64
4.12 BARRAS EN CRUZ	66

4.13 AGREGADO PRECOLADO	66
4.14 CAPAS SUPERPUESTAS	67
4.15 APLICACIÓN MANUAL	67
4.16 LECHADEADO EXTERNO	67
4.17 REDUCCIÓN DE ESFUERZOS	68
4.18 CONTRAVENTEO	68
5. CASO DE ESTUDIO (CAPÍTULO 5)	82
6. CONTROL DE CALIDAD DE REPARACIONES DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO (CAPÍTULO 6)	89
III. ANÁLISIS DE RESULTADOS	91
IV. CONCLUSIONES	92
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

I INTRODUCCIÓN

Las excepcionales virtudes del concreto armado como material de construcción a fines del siglo pasado y principios del presente propiciaron una rápida expansión en su utilización.

Como material de construcción se pensó que el concreto podría tener una duración ilimitada; sin embargo, en la actualidad se reporta un número cada día más creciente de estructuras construidas hace apenas 20 ó 30 años prematuramente deterioradas que requieren hoy en día reconstrucción o demolición con su consiguiente costo. Es aquí donde se requieren materiales de ingeniería que regresen a las estructuras sus características originales.

Es evidente que a medida que las estructuras envejecen y que el presupuesto y las restricciones en los recursos para la nueva construcción se hacen más estrictos es necesario renovar las estructuras.

El presente trabajo está dividido en seis capítulos. En el primer capítulo se presenta una descripción de los mecanismos de daño de una estructura clasificados en cuatro categorías: acciones físicas, acciones químicas, acciones biológicas y el efecto de los sismos en las estructuras.

En el capítulo 2, se presenta una descripción de lo que es la Patología del concreto y procedimientos que utiliza esta disciplina para detectar problemas en estructuras deterioradas.

En el capítulo 3, se presentan los diversos tipos de materiales reparadores del concreto existentes en el mercado internacional y nacional, sus características y condiciones necesarias para su aplicación.

En el capítulo 4, se da un informe de los diferentes métodos usados en el campo de la construcción para la reparación de estructuras de concreto mencionando las características que debe presentar un sustrato para la aplicación de cada uno de los métodos.

En el capítulo 5 se analiza la rehabilitación del edificio de la Rectoría de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH).

Finalmente, en el capítulo 6, se especifican los requisitos de control de calidad que deben de llevarse a cabo en la reparación de estructuras de concreto.

I.1 ANTECEDENTES

México cuenta con una extensa geografía de zonas desérticas, tropicales, montañosas y costeras con condiciones climatológicas muy diversas, además los movimientos sísmicos frecuentes en nuestro país, ocasionan, cada vez que ocurren, daños considerables a las estructuras de obras civiles y de edificación.

La reparación de estructuras de concreto es una actividad que requiere la intervención de personal competente y bien preparado en todas las etapas del proceso y es una problemática que se observa no solo en México, sino en el mundo entero.

I.2 OBJETIVO GENERAL

Proporcionar a los profesionales involucrados en la industria de la construcción un resumen de los diversos materiales y métodos de reparación de estructuras de concreto para evitar un incremento del nivel de daño, preservar vidas humanas y bienes materiales.

I.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los diferentes mecanismos de daño que deterioran a una estructura de concreto
- Analizar los métodos utilizados en la Patología de una estructura para la identificación de daños, sus causas y posibles soluciones
- Conocer los diferentes materiales en el mercado Internacional y Nacional utilizados en la reparación de una estructura
- Estudiar los diferentes métodos de colocación usados en la reparación de estructuras dañadas
- Analizar el caso de la rehabilitación del edificio de la Rectoría de la Universidad Autónoma de Chiapas afectada por un sismo de 8.2 grados Richter en la Ciudad de Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas en Octubre de 1995

I.4 ALCANCE

El deterioro del concreto y corrosión del acero de refuerzo que afectan en su durabilidad a todo tipo de estructuras de concreto limitan el alcance de este trabajo al conocimiento de diferentes técnicas de reparación de superficies de concreto deterioradas a través del tiempo por diferentes circunstancias. En este trabajo se pretende que los lectores conozcan los tipos diferentes de problemas que se presentan en una estructura y los métodos más comunes de reparación de los mismos con el objetivo de regresar a la estructura a sus condiciones originales de funcionalidad y resistencia que proporcionen al usuario una sensación de confort y seguridad de la estructura que habita.

I.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las estructuras de concreto son diseñadas y construidas para satisfacer un conjunto de requisitos arquitectónicos, funcionales, estructurales, de comportamiento, de estabilidad y de seguridad durante un cierto período de tiempo, sin que se generen costos inesperados por mantenimiento o reparación.

Este período de tiempo constituye la vida proyectada de servicio y para edificaciones convencionales, este período de tiempo puede ser de 50 años, aunque algunas recomendaciones estipulan 100 años o más. Lo anterior no implica que al cumplirse el período de vida en servicio la estructura deba ser demolida, sino que el costo de su mantenimiento para garantizar sus condiciones de comportamiento iniciales, es probable que se incremente.

Se destinan muchos fondos públicos y privados a la reparación, refuerzo y protección de estructuras de concreto para remediar su deterioro alrededor de todo el mundo.

Actualmente existe la necesidad de diseñar una solución integral para reparar, reforzar y proteger al concreto que considere las causas de su deterioro y que prolongue su vida de servicio.

En este trabajo de investigación se presenta el caso del reforzamiento del edificio de la rectoría de la Universidad Autónoma de Chiapas afectada por un sismo de magnitud 8.2 grados Richter en octubre de 1995, donde se aplicaron métodos de reparación que demostraron ser eficientes en cuanto a aumento de rigidez y de resistencia a cortante.

Fue una investigación documental en el que se revisó información sobre los diferentes métodos de reparación de las estructuras.

CAPÍTULO 1

MECANISMOS DE DAÑO

Debido a que las estructuras de concreto están expuestas no solamente a la acción mecánica de las cargas de servicio, sino también a otros factores que tienden a deteriorarlas y destruirlas como acciones físicas, químicas, biológicas y sismos, se hace necesario procedimientos de inspección y de mantenimiento de las estructuras.

Los procesos de deterioro del concreto pueden acentuarse por el efecto de tres factores: humedad, temperatura y presión.

Para que haya procesos de deterioro en el concreto se requiere la presencia de agua y el factor principal es el estado de humedad en el concreto y no en la atmósfera circundante, sin embargo la humedad de la atmósfera contribuye con los fenómenos de deterioro.

El efecto de la temperatura incide notablemente en la velocidad con la cual pueden ocurrir los fenómenos de deterioro del concreto.

La presión atmosférica y el régimen de vientos también inciden, ya que puede darse deterioro por la erosión de partículas arrastradas por el viento, se pueden promover los ciclos de humedecimiento y secado y ser afectados los ciclos de calentamiento y enfriamiento de la superficie de la tierra.

Las principales acciones que afectan la durabilidad de un concreto son:

1. 1 Acciones físicas
1. 2 Acciones mecánicas
1. 3 Acciones químicas
1. 4 Acciones biológicas
1. 5 Efecto de los sismos

1. 1 ACCIONES FÍSICAS

Comprende los cambios volumétricos que experimenta el concreto como consecuencia de cambios de humedad y/o de temperatura y a las variaciones en su masa.

Entre los mecanismos inherentes a los cambios de temperatura se encuentran:

- a) La contracción térmica Inicial
- b) La dilatación
- c) Los ciclos de congelamiento y deshielo
- d) El ataque por fuego (choque térmico)

La contracción térmica inicial procede del calor de hidratación del cemento, en condiciones normales el concreto no disipa el calor a la suficiente velocidad y alcanza temperaturas más altas que el ambiente (65°) apareciendo fisuras que pueden acentuarse por contracción del secado.

El concreto se dilata con el aumento de la temperatura y se contrae con la disminución de la misma, el alabeo producido por el gradiente térmico (en la noche y en el día contrarios) produce estados de tensión y compresión invertidos en la estructura que, aunados a la presión de cargas puede producir un agrietamiento en el concreto como en losas de pavimento continuas (Guzmán, 2006).

El congelamiento y el deshielo se consideran uno de los factores físicos más destructivos del concreto especialmente, cuando el material mantiene un estado de saturación casi completa, el agua dentro de los poros de concreto se congela y aumenta de volumen, induciendo grandes esfuerzos de tensión en su interior y provoca que el concreto se fracture por su baja capacidad a la tensión.

En general, el concreto tiene buena resistencia al fuego y su comportamiento es satisfactorio por un periodo alto si no hay emisión de gases tóxicos, sin embargo en concretos a base de calizas o silíceas puede sufrir calcinación y

cambios desiguales de volumen dando, como resultado distorsión, pandeo y agrietamiento.

Se ha comprobado que al aumentar la temperatura del concreto, se registra un descenso de su resistencia y módulo de elasticidad, acompañado de grandes incrementos en su deformación unitaria que produce fisuramiento (temperaturas mayores de 300°).

1.2 ACCIONES MECÁNICAS

Dentro de las acciones mecánicas están la deformación lenta (fluencia), las sobrecargas, las deformaciones impuestas, los impactos, las vibraciones excesivas y los daños por abrasión.

Aunque el concreto es muy resistente a la compresión, su capacidad a la tensión es relativamente débil (10% de la resistencia a compresión), por ello los movimientos que experimenta se manifiestan mediante deformaciones que pueden desarrollar fisuras y grietas.

Con relación a la sobrecarga o deformaciones impuestas a una estructura es claro que, si se rebasa la capacidad resistente del material, habrá deflexiones y movimientos excesivos o imprevisibles y se pueden presentar fracturas y aplastamientos (Guzmán, 2006).

Las fisuras y grietas se deben a que, el concreto está sometido localmente a tensiones excesivas (tensiones de adherencia demasiado elevadas), a cargas puntuales o concentradas, cambios bruscos en la sección en elementos estructurales, elementos con aristas vivas o que causan restricción al libre movimiento (falta de juntas de dilatación) u otras.

Entre los planos de falla clasificados como grietas estructurales que se originan en una rotura frágil o dúctil, inducidas por precargas, cargas de servicio y sobre carga, se encuentran las que se muestran en la figura 1:

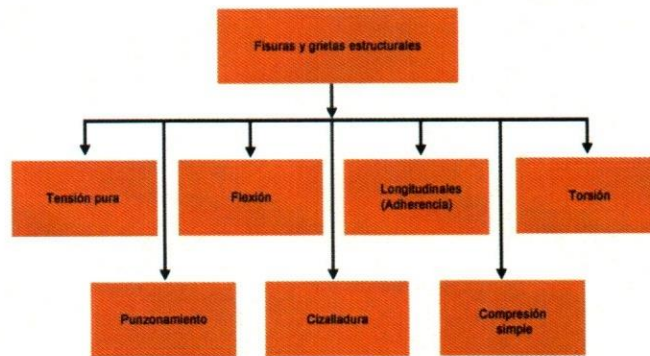


Figura 1: Tipos de fisuras y grietas estructurales (Guzmán, 2006)

La variable de mayor incidencia en el agrietamiento son, los esfuerzos de tensión actuantes en el acero, que provocan de manera súbita una grieta que afecta la unión entre el concreto y la barra de acero, alrededor de la sección agrietada consecuentemente, se interrumpe la transferencia de esfuerzos actuantes por pérdida de adherencia mecánica entre el acero y el concreto, el ancho de la grieta es mínimo cerca del acero y se incrementa a medida que se aleja de ella (Figura 2)

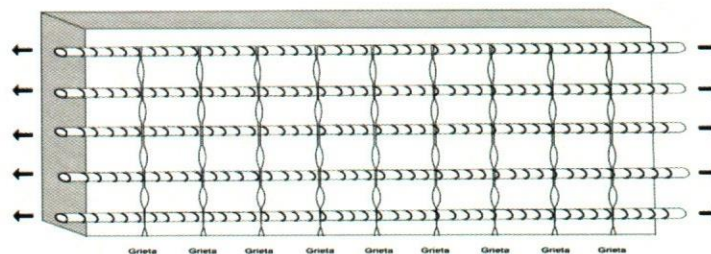


Figura 2: Detalle de la variación del ancho de grietas por tensión pura y su patrón de espaciamiento (Guzmán, 2006)

En una viga, losa o muro sometido a esfuerzos de flexión se presentan tensiones en la cara sometida a la expansión de su superficie que, originan fisuras y grietas, que se extienden hasta llegar al eje neutro (Figura 3).

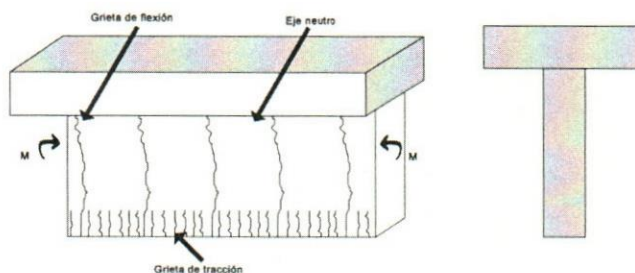


Figura 3: Grietas por flexión y tensión en un elemento sometido esfuerzos de flexión (Guzmán, 2006)

El agrietamiento causado por esfuerzos de tensión o flexión suele ser perpendicular a la dirección del esfuerzo longitudinal, la existencia de estribos puede hacer que las fisuras se alineen con ellos e incluso favorezcan el inicio o la propagación de las mismas fisuras, si el recubrimiento de las varillas de acero de este refuerzo no es suficiente, las fisuras de adherencia se forman a lo largo de las barras del refuerzo principal.

Las grietas longitudinales son consecuencia de los fenómenos de retracción plástica, de asentamiento plástico, de falta de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo y de la falta de traslape de las barras de refuerzo.

En vigas y losas sometidas a esfuerzos de corte y flexión, la deformación que ocurre puede dar lugar a grietas de cortante que aparecen inclinadas a las zonas cercanas a los apoyos con un ángulo aproximado de 45° , algunas veces, si existen fisuras de tensión en la parte superior de la viga, causados por momentos negativos de flexión cerca de la unión, éstas tiende a unirse con las grietas de cortante (Figura 4).

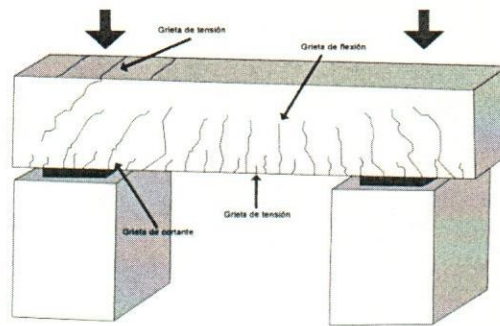


Figura 4: Grietas por cortante, flexión y tensión de vigas de concreto reforzado (Guzmán, 2006)

Las grietas de cortante también pueden presentarse donde haya cargas puntuales o pocos estribos en el centro del claro de la viga, en este caso la grieta obedece a un esfuerzo combinado de cortante y flexión y se considera un serio daño (Figura 5).

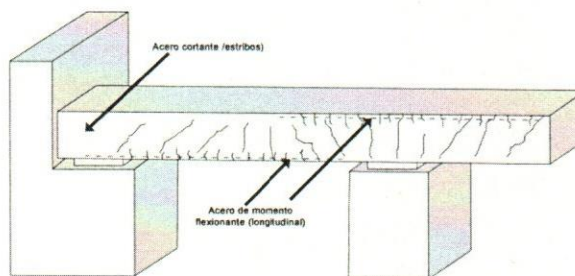


Figura 5: Grietas por cortante, flexión y tensión a lo largo de una viga simplemente apoyada (Guzmán, 2006)

Los esfuerzos de torsión en un elemento estructural como una viga, causan grietas transversales e inclinadas similares a las de cortante, pero difieren en que siguen un patrón de espiral que atraviesa toda la sección de los miembros afectados (Figura 6).

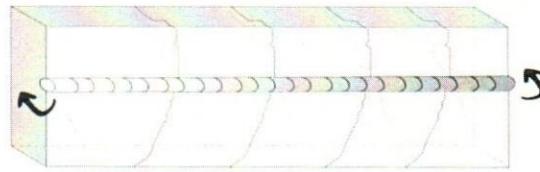


Figura 6: Patrón de las grietas por torsión en una viga prismática (Guzmán, 2006)

Las grietas por punzonamiento, se desarrollan en elementos que experimentan tensiones originadas por tensiones tangenciales, motivadas por una carga o reacción localizada en un área relativamente pequeña, este fenómeno de falla se caracteriza por la deformación de una superficie en forma de tronco de pirámide, cuya directriz es el área cargada, la falla es de tipo frágil y es causada por falta de refuerzo en la zona (Figura 7).

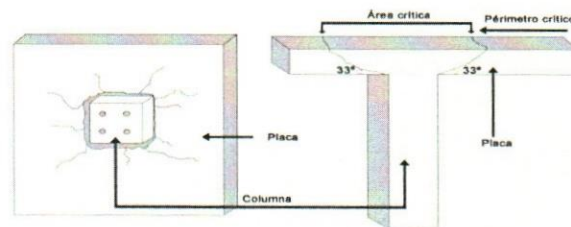


Figura 7: Patrón de falla local por aplastamiento debido a una carga concentrada en una columna (Guzmán, 2006)

Las fallas por cizalladura, se presentan en secciones compuestas de concreto reforzado conformados con un elemento prefabricado y una capa de concreto colado "in situ", si la unión entre estas dos capas es débil se presentará este tipo de falla (Figura 8).

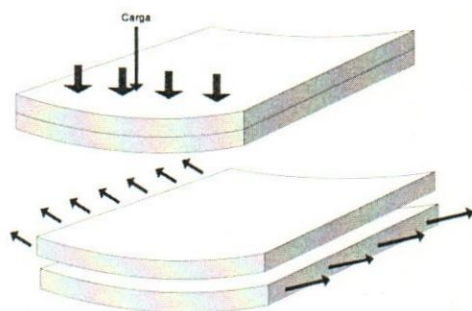


Figura 8: Patrón de falla por cizalladura en una losa compuesta de concreto (Guzmán, 2006)

Una columna sujeta a una carga axial, produce un esfuerzo de compresión simple y, si se rebasa su capacidad resistente a la carga de compresión ocurre una fisuración que es paralela a la dirección larga de la columna, si el patrón de falla es oblicuo, indica que el concreto está seco (Figura 9).

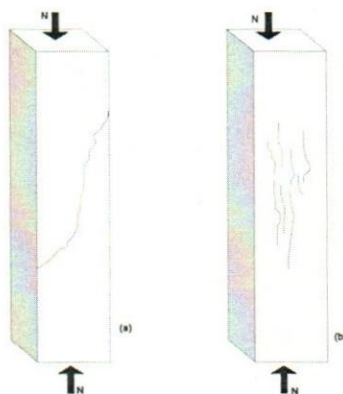


Figura 9: Patrón de falla por compresión simple de columnas (Guzmán, 2006)

Elementos simplemente apoyados como las vigas pueden generar fracturas y fallas de borde en las zonas de conexión, la fractura puede ser por rigidez de apoyo, fractura inducida por el recubrimiento y fractura por falta de refuerzo en el borde (Figuras 10, 11 y 12).

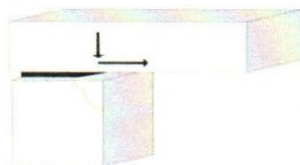


Figura 10: Patrón de fractura de borde, por rigidez del apoyo (Guzmán, 2006)

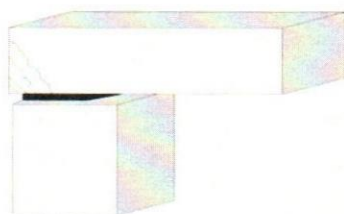


Figura 11: Patrón de fractura inducida por el recubrimiento (Guzmán, 2006)

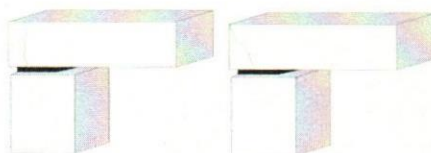


Figura 12: Patrón de fractura por refuerzo inadecuado en el borde (Guzmán, 2006)

El agrietamiento por cortante en las conexiones de vigas y columnas puede ser causada por movimiento horizontal, por cambios de volumen, por acortamiento elástico, por fuerzas de postensado y movimientos de la cimentación causados por asentamientos o sismos.

Las fracturas y grietas por aplastamiento se deben a la alta concentración de cargas que se dan en las zonas de apoyo de elementos simplemente apoyados o en las zonas de anclaje para el preesfuerzo de torones y cables, cuando el aplastamiento ocurre por una carga concentrada, el patrón de falla se localiza directamente debajo de esta y tiende a dividir la sección de concreto (Figura 13).

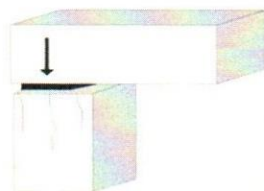


Figura 13: Patrón de falla local por aplastamiento debido a una carga concentrada en una columna (Guzmán, 2006)

La desintegración del concreto por trituración es, consecuencia de la fatiga del material ante las diferentes sollicitaciones mecánicas, pero principalmente por el efecto de cargas concentradas que desintegran el concreto por esfuerzos de compresión; la abrasión también ejerce efectos perjudiciales en las estructuras de concreto y son producidas por frotamiento, fricción, erosión de materiales abrasivos o erosión por cavitación.

1.3 ACCIONES QUIMICAS

El medio ambiente define la condición de agresividad del entorno que rodea a la superficie de una estructura de concreto, las sustancias agresivas se trasladan desde la fuente contaminante hasta la superficie o el interior de la masa y se desarrollan reacciones químicas con diferentes sustancias reactivas del concreto, la presencia de humedad, temperatura y presión tienen una alta incidencia sobre la velocidad de las reacciones químicas.

La tabla 1 presenta una clasificación de la agresividad del medio ambiente por ataque químico del concreto.

Agente Agresivo	Agresión del Ambiente			
	Ligera	Moderada	Severa	Muy Severa
En agua				
PH	6.5 – 5.5	5.5 – 4.5	4.5 – 4.0	Menor 4
Co ₂ agresivo mg/l	15 – 30	30 – 60	60 – 100	Mayor 100
Ión amonio NH ₄ mg/l	15 – 30	30 – 60	60 – 100	Mayor 100
Ión Magnesio mg/l	100 – 300	300 – 1500	1500 – 3000	Mayor 1500
Ión Sulfato mg/l	200 – 600	600 – 3000	3000 – 6000	Mayor 6000
Sólidos Disueltos	75 – 150	50 – 75	Menor 50	Menor 50
En Suelo				
Grado de Acidez según Baumann – Gully	Mayor 20			
Ión Sulfato mg/kg de suelo seco	2000 – 6000	6000 – 12000	Mayor 12000	

Tabla 1: Clasificación de la agresión del medio ambiente (por ataque químico), en función de las condiciones de exposición del concreto en contacto con agua o suelos que contienen agentes agresivos (Guzmán, 2006).

Los factores de deterioro por acciones químicas son:

- a) El ataque de ácidos
- b) La lixiviación por aguas blandas
- c) La carbonatación

- d) El ataque de sulfatos
- e) La expansión destructiva de las reacciones álcali - agregado
- f) La corrosión del acero de refuerzo.
- g) Presencia de cloruros

La pasta de cemento Portland mantiene adherido al concreto por ser un material sílico-calcáreo con un PH del orden de 13 y, es susceptible al ataque de cualquier ácido, el ataque de ácidos al concreto resulta de la reacción entre el ácido y el hidróxido de calcio del cemento Portland hidratado, en la tabla 2 se presentan ácidos dañinos del concreto.

Ácidos Inorgánicos y Minerales	Ácidos Orgánicos
Ácido Clorhídrico	Ácido Acético
Ácido Brómico	Ácido Fórmico
Ácido Carbónico	Ácido Láctico
Ácido de Cromo	Fenol
Ácido Fluorhídrico	Ácido Tánico
Ácido Fosfórico	Ácido Butílico
Hidrógeno Sulfurado	Ácido Úrico
Ácido Nítrico	Micro – organismos
Ácido Sulfúrico	Ácido Húmico
Ácido Sulfuroso	

Tabla 2: Ácidos y sustancias dañinas para el concreto (Guzmán, 2006)

Las aguas blandas disuelven los compuestos cálcicos del concreto, el resultado es la descomposición y lixiviación de la pasta de cemento endurecida, esta

lixiviación produce la degradación de componentes de la pasta hidratada, perdiendo el concreto su resistencia y se desintegra.

La carbonatación resulta por la reacción entre gases ácidos en la atmósfera y productos de la hidratación del cemento, por la penetración por difusión del dióxido de carbono del aire atmosférico o del suelo en el concreto que, reacciona con el óxido de calcio disuelto en el agua de los poros del concreto originando ácido carbónico que produce en el concreto carbonato de calcio y por lo tanto un descenso en el PH del concreto (La Carbonatación, enemigo olvidado del Concreto), al perder el concreto su basicidad deja de proteger al acero de refuerzo de la corrosión y se pierde el efecto de capa "pasivadora" que tiene el recubrimiento de concreto (Figura 14).



Figura 14: Efecto de la carbonatación en un muro

En este proceso, tiene lugar una retracción adicional en el concreto como consecuencia de la disminución del volumen de cemento conocida como contracción por carbonatación, el proceso es más intenso con los cambios de humedad, temperaturas elevadas y a mayor permeabilidad del concreto.

Todos los sulfatos son potencialmente dañinos al concreto y reaccionan químicamente con la cal hidratada de la pasta de cemento y con el aluminato de

calcio hidratado, la formación subsecuente de sulfato de calcio y sulfoaluminato de calcio resultan en un aumento de volumen (18%).

Los sulfatos producen degradación por expansión, fisuración y una reducción en la resistencia mecánica debido a la pérdida de cohesión en la pasta de cemento, perdiendo su adherencia con los agregados, se pueden encontrar en suelos con turbas, arcillosas, aguas freáticas, en el agua del mar, etc., la presencia de humedad, la permeabilidad y la composición del cemento influyen en la acción expansiva de los sulfatos (Figura 15).

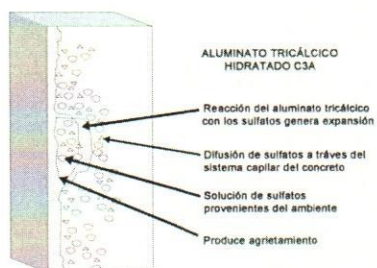


Figura 15: Mecanismo de deterioro del concreto por ataque de sulfatos (Guzmán, 2006)

Las reacciones álcali – agregado producen expansión y agrietamiento severo en estructuras de concreto, es un proceso físico y químico en el cual intervienen los hidróxidos alcalinos del concreto y los minerales constitutivos de los agregados.

En la reacción álcali – sílice se forman silicatos alcalinos en el gel del cemento que son capaces de absorber agua en grandes cantidades y, a través de procesos de ósmosis ejercen grandes presiones en los poros del concreto causando fisuras (Figura 16).

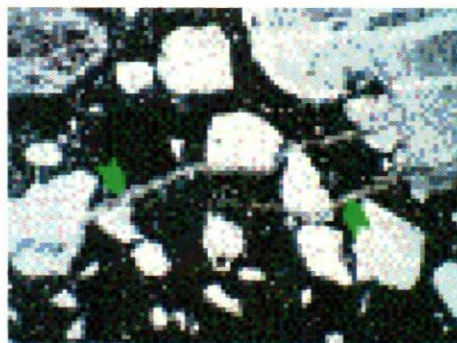


Figura 16: Mecanismo de deterioro del concreto por reacción álcali-agregado

En la tabla 3 se presentan los niveles de riesgo para que se produzca la reacción álcali – agregado

Nivel de riesgo	Condición de la solución en los poros		Condición de los agregados		Condición de exposición del concreto	
	Altos álcalis	Bajos álcalis	Reactivos	Inocuos	Húmedo	Seco
Riesgo alto	X		X		X	
Riesgo medio	X		X			X
Riesgo bajo		X	X		X	
Sin riesgo		X		X		X

Tabla 3: Niveles de riesgo para que se produzca la reacción álcali-agregado (Guzmán, 2006)

El fenómeno de corrosión en el acero, se define como un proceso de reacción entre el metal y una sustancia del medio ambiente, ésta puede ser:

a) Química

b) Electroquímica.

La corrosión química, ocurre debido al ataque de sistemas no electrolíticos (gases y vapores a temperaturas que impiden su condensación sobre la superficie metálica o por líquidos no conductores de la corriente)

La corrosión electroquímica, es una reacción química que requiere de un ánodo, un cátodo, y un electrolito, la matriz de concreto húmedo forma un electrolito aceptable y el acero de refuerzo proporciona el cátodo y el ánodo, la corriente eléctrica fluye entre el cátodo y el ánodo y la reacción da como resultado un incremento del volumen del metal cuando el Fe (hierro) se oxida para formar $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3$ que se precipita como Fe OH (color del herrumbre), esta expansión induce esfuerzos radiales internos de tensión en el concreto causando fisuras. Otras causas de la corrosión son corrientes eléctricas vagabundas, celdas de concentración causadas por un ambiente químico disparado o variable, lixiviación de los álcalis, presencia de cloruros, presencia de dos metales ahogados diferentes u otros iones despasivantes en contacto con el acero de refuerzo (Figura 17).



Figura 17: Mecanismo de deterioro en una losa de concreto

Las grietas y las juntas de construcción en el concreto, permiten que los químicos corrosivos como las sales descongelantes (cloruro), entren al concreto y se introduzcan en el acero de refuerzo (Figura 18)



Figura 18: Mecanismo de deterioro en el concreto por presencia de cloruros (Helene, 1997)

Pueden encontrarse cloruros en el concreto reforzado incluso antes de que la estructura esté en servicio, los cloruros pueden introducirse deliberadamente como un acelerante o en forma de ingredientes naturales localizados en algunos agregados (arena de mar).

El ataque físico de sales (PSA) causado por la presencia de sulfatos, carbonatos y cloruros está asociado a la cristalización de sales en poros cercanos a la superficie del concreto o las rocas, y se desarrolla en concreto o en rocas en contacto con suelo húmedo que contiene sales disueltas, los suelos marinos suelen ser la principal fuente de estas sales y son transportadas a aguas subterráneas acumulándose en sitios específicos, el concreto expuesto puede absorber la disolución salina, que es transportada posteriormente a la superficie y ante la evaporación, una disolución salina puede ser sobresaturada y cristalizar las sales, los cristales de sal superficiales (eflorescencias) generalmente no son perjudiciales, la efluorescencia de carbonato de calcio insoluble es considerada como el decolorante más serio del concreto.

1.4 ACCIONES BIOLÓGICAS

La presencia de microorganismos y organismos de origen vegetal o animal sobre las estructuras de concreto puede producir una gran variedad de daños y defectos de carácter físico, mecánico, químico y biológico.

La vegetación en las estructuras retiene agua sobre las mismas, lo cual es dañino para el concreto, puede causar daños mecánicos por penetración de raíces de plantas a través de las fisuras o juntas y ocasionar en la estructura ataques químicos por los ácidos que contienen.

Los organismos y microorganismos de origen animal, pueden afectar la superficie de una masa de concreto por acciones físicas, químicas (fluidos orgánicos como la sangre, jugos gástricos, etc.), o por acciones biológicas (bacterias que consumen algunos compuestos del concreto).

Para que haya deterioro biológico, se requiere agua y ésta puede proceder de fuentes externas (humedad del medio ambiente) o, estar presente en los poros del concreto.

Los microorganismos forman colonias donde hay nutrientes disponibles, el medio ambiente puede ser una fuente, las sustancias depositadas en el concreto otra y el concreto mismo puede ser una fuente de nutrientes

Entre los mecanismos de deterioro biológico del concreto están:

- a) El Biodeterioro del concreto
- b) La Biodegradación de hidrocarburos
- c) La Biocorrosión de los metales.

El biodeterioro del concreto, es el ataque de microorganismos que causan disolución de componentes cementantes o de los agregados del concreto, como consecuencia de la acción de sus metabolitos ácidos.

La biodegradación de hidrocarburos, ocurre por la fuga de hidrocarburos y su infiltración en sistemas acuíferos derivados del petróleo; los microorganismos de los acuíferos oxidan los hidrocarburos y, si estos entran en contacto con el concreto pueden ocurrir agresiones significativas de carácter químico o biológico.

La biocorrosión de los metales, sucede cuando existe evidencia de fenómenos de naturaleza electroquímica relacionados con la presencia y participación de microorganismos locales.

Se ha identificado la presencia de H_2SO_4 de origen biológico como principal agente de corrosión del acero de refuerzo.

Entre los microorganismos que fomentan el deterioro microbiológico del concreto se encuentran: las bacterias, los hongos, las algas, los líquenes y el musgo.

La contaminación del aire por residuos de procesos industriales y biológicos en forma de partículas es transportada y depositada por el viento sobre las superficies de concreto de las estructuras en forma de polvo fino y grueso, si el concreto tiene una alta porosidad y una baja hermeticidad el concreto puede ser penetrado por el agua como se muestra (Figura 19).

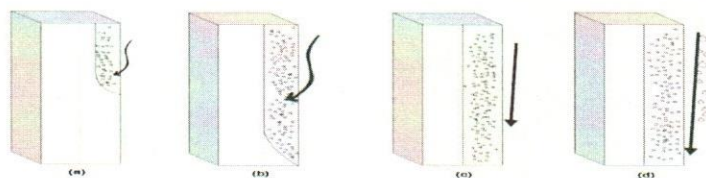


Figura 19: Modelo de escurrimiento y absorción de agua sobre una superficie vertical de concreto (Guzmán, 2006)

1. 5 EFECTO DE LOS SISMOS

Los sismos ejercen esfuerzos importantes en una estructura y, las fallas causadas por este pueden deberse a las siguientes causas:

- a) Inadecuada resistencia al cortante de los entrepisos debido a la escasez de elementos tales como columnas y muros.
- b) Grandes esfuerzos de cortante y tensión diagonal en columnas y vigas.
- c) Falla por adherencia del bloque de unión en las conexiones viga – columna debida, al deslizamiento de las varillas o falla de cortante.
- d) Grandes esfuerzos en muros de cortante.
- e) Vibración torsional causada por la falta de coincidencia en planta del centro de masa con el centro de rigidez.
- f) Punzonamiento de la losa de edificios contruidos a base de losas planas.
- g) Variación brusca de la rigidez a lo largo de la altura del edificio.
- h) Golpeteo entre edificios.
- i) Ampliación de los desplazamientos en la cúspide de los edificios.
- j) Grandes esfuerzos de cortante en columnas cortas, causadas por el efecto restrictivo al desplazamiento de elementos no estructurales.

El colapso de los edificios se debe a la insuficiente resistencia a carga lateral de los elementos verticales de soporte como son columnas y muros, las fuerzas de inercia varían desde la base hasta la cúspide del edificio (progresivamente creciente) y, generan fuerzas cortantes decrecientes desde la base hasta la cúspide, mismas que, deben ser resistidas en cada nivel por el conjunto de dichos elementos verticales, de esta manera es necesaria una área transversal de muros

y/o columnas suficiente para resistir adecuadamente las fuerzas cortantes inducidas por el sismo. (Métodos de Reparación de estructuras en edificios dañados por sismos, 2001).

Es importante que las edificaciones cuenten con una capacidad de deformación suficiente para soportar adecuadamente la sollicitación sísmica sin afectar su resistencia.

Cuando la respuesta sísmica de la estructura es dúctil, se presentan elevadas deformaciones en compresión debidas a efectos combinados de fuerza axial y momento flector.

La falta de estribos en el confinamiento de una columna, hace que el concreto se desconche y el acero longitudinal se pandee, esta falla se debe a la gran concentración de esfuerzos en los extremos de las columnas por las elevadas acciones internas como carga axial, cortante, momento flector y fuerzas sísmicas. El confinamiento del núcleo de concreto, evita la falla por tensión diagonal producida por fuerza cortante.

Las vigas, también suelen fallar por tensión diagonal provocada por la fuerza cortante; con frecuencia en las conexiones de los distintos elementos de una estructura se presentan elevadas concentraciones y complejas condiciones de esfuerzos, mismos que conducen a numerosos y distintos modos de falla, especialmente en las uniones de muros y losas de estructuras a base de paneles, entre vigas y columnas en estructuras de marcos, entre columnas y losas planas y, entre columnas y cimentaciones.

En los proyectos estructurales, los muros de cortante son destinados a resistir principalmente los esfuerzos producto de las fuerzas horizontales de un sismo, las fallas suelen presentarse en la unión con los sistemas de piso por cortante horizontal o vertical y por volteo.

La asimetría en la distribución en planta de los elementos estructurales resistentes de una estructura, causa una vibración torsional ante la acción sísmica

y, genera fuerzas elevadas en los elementos de la periferia del edificio, esta vibración torsional ocurre cuando el centro de masa de un edificio tiende a girar respecto a su centro de rigidez.

Con frecuencia, las partes bajas de los edificios se construyen dejando un espacio para permitir el paso o estacionamiento vehicular mientras que, los niveles superiores se construyen mediante sistemas marco-muro, estando este último la mayoría de las veces confinado por el marco, lo que proporciona a los pisos superiores una rigidez superior, esta situación conduce a la concentración de daños en la planta baja “débil” del edificio.

Si no existe separación suficiente entre edificios adyacentes, su manera distinta de vibrar ante una fuerza sísmica conduce al golpeteo entre ellos causándoles daños severos, este tipo de falla puede ser más grave cuando los edificios adyacentes no coinciden en sus alturas de sus entrepisos.

Al propagarse las vibraciones inducidas desde la base hasta la cúspide del edificio, se presentan ampliaciones de la vibración a lo largo de la altura que se acentúan en los niveles superiores principalmente en edificios altos (chicoteo), lo que conduce a una elevada concentración de acciones internas que provocan el colapso del edificio a partir de determinada altura.

La interacción entre elementos no estructurales y las columnas del marco de concreto provoca concentraciones de fuerzas cortantes en los extremos libres de las columnas que tienden a fallar frágilmente por cortante, como sucede en columnas cortas, ante la insuficiente ductilidad de la columna cortada, la falla se genera por tensión diagonal y se producen elevados esfuerzos cortantes.

CAPÍTULO 2

PATOLOGÍA DEL CONCRETO

El concreto puede sufrir modificaciones en su estructura si existen agentes que con el paso del tiempo lo puedan deteriorar, por ello a partir de los años 60 se empezó a poner especial cuidado en la conservación y reparación de estructuras de concreto reforzado, dando origen al estudio formal de los mecanismos de daño a partir de lo que se llama Patología del Concreto.

La patología del concreto puede definirse como el estudio sistemático de los procesos y características de las “enfermedades” que puede sufrir el concreto, sus causas, consecuencias y remedios.

Las enfermedades que sufre el concreto pueden ser congénitas (presentes desde su concepción y/o construcción), haberse contraído durante una etapa útil de su vida, o ser consecuencia de accidentes, estas se manifiestan mediante síntomas como manchas, cambios de color, fisuras, pérdidas de masa u otros

Por ello se estudia la estructura, con una investigación preliminar y una investigación profunda, es decir se tiene una patología clínica que se encarga del estudio de la enfermedad y una patología experimental que se encarga de realizar las pruebas de laboratorio.

La inspección de una estructura es una tarea compleja que requiere de la experiencia y destreza de ingenieros capacitados, la aparición de patologías de distinta naturaleza implica la necesidad de realizar distintos tipos de inspecciones siendo los tipos principales:

2. 1 Inspección Preliminar
2. 2 Inspección Detallada

2.1 INSPECCIÓN PRELIMINAR

De acuerdo con el ACI 364, el propósito de esta inspección es el de evaluar de manera inicial o preliminar las condiciones en que se encuentra una edificación, que permita definir si se requiere una demolición inmediata o si se procede a su reparación (económicamente razonable).

Se trata de recorrer el inmueble y mediante una fundamentada observación formarse una idea clara y precisa del estado general para evaluar el tipo de problemas que la afectan, es necesario conocer los antecedentes del más variado orden, es decir recabar datos de información general del inmueble, influencia del medio ambiente, revisión del proyecto original, inspección visual, mediciones, etc.

Si se considera necesario se realiza la extracción de muestras y ensayos no destructivos (ensayos de resistencia a la penetración o pistola de Windsor, medidor de humedad, prueba del jalón, velocidad del pulso ultrasónico, uso del barrenoscopio y periscopio, etc.).

En la investigación preliminar se debe contar con los elementos y equipos apropiados, como anteojos de protección, lupa, cámaras fotográficas, nivel de mano, grabadora, cinta métrica, grietómetro, equipos de topografía, etc., el uso de herramientas de monitoreo es adecuado (H.Emmons, 2005).

Basados en la información recogida, se elabora un informe que debe ser concluyente en los siguientes aspectos: capacidad estructural, factibilidad de una posible reparación o rehabilitación y determinar si existen problemas estructurales.

En caso de que se requiera refuerzo, deben darse alternativas y determinar si se necesita una investigación detallada, los daños estructurales más comunes en donde se debe hacer énfasis en una inspección, se resumen en la tabla 4:

Elemento estructural	Tipo de daño	Causa
Columnas	Grietas diagonales	Cortante o Flexión
	Grietas verticales	Flexocompresión
	Desprendimiento del recubrimiento	Flexocompresión
	Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Flexocompresión
Vigas	Grietas diagonales	Cortante o Torsión
	Rotura de estribos	Cortante o Torsión
	Grietas verticales	Flexión
	Rotura del esfuerzo	Flexión
	Aplastamiento del concreto	Flexión
Unión Viga – Columna	Grietas diagonales	Cortante
	Falla por adherencia de refuerzo de vigas	Flexión
Sistemas de piso	Grietas alrededor de las columnas, en losas o placas planas	Penetración
	Grietas longitudinales	Flexión
Muros de concreto	Grietas diagonales	Cortante
	Grietas horizontales	Flexocompresión
	Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Flexocompresión

Tabla 4: Tipos de daños en elementos estructurales (Jesús Iglesias J., Francisco Robles, 1986)

Al llevar a cabo la evaluación preliminar, deben interpretarse los criterios con cierta flexibilidad con base a la experiencia y al buen juicio de la persona que lo realiza, en la tabla 5 se presenta una clasificación y evaluación preliminar de los daños.

Tipo de daño	Descripción	Evaluación preliminar
No estructural	Daños en elementos únicamente no estructurales	No existe reducción en la capacidad sismo resistente No se requiere desocupar La reparación consistirá en la restauración de los elementos no estructurales
Estructural ligero	Grietas de menos de 0.5 mm de ancho en elementos de concreto Fisuras y caídas de aplanados en paredes y techo Grietas de menos de 3 mm de ancho en muros de mampostería	No existe reducción en la capacidad sismo resistente No se requiere desocupar La reparación consistirá en la restauración de los elementos dañados
Estructural Fuerte	Grietas de 0.5 a 1.0 mm de ancho en elementos de concreto Grietas de 3 a 10 mm de ancho en muros de mampostería	Existe reducción importante en la capacidad sismo resistente Debe desocuparse y mantenerse solo acceso controlado, previa rehabilitación temporal Es necesario realizar un proyecto de reparación para la restauración y el refuerzo de la estructura
Estructural Grave	Grietas de más de 1 mm de ancho en elementos de concreto Desprendimiento del recubrimiento en columnas	Existe reducción importante en la capacidad sismo resistente Debe desocuparse y suspenderse el acceso y la circulación en la vecindad de

	Aplastamiento del concreto, rotura de estribos y pandeo del refuerzo en columnas y muros de concreto Agrietamiento de losas planas alrededor de columnas Aberturas en muros de mampostería Desplome de columnas de más de 1/100 de su altura Desplome del edificio de más de 1/100 de su altura	la estructura Es necesario proteger la calle y los edificios vecinos mediante la rehabilitación temporal o proceder a la demolición urgente. De ser posible deberá recurrirse a una evaluación definitiva que permita decidir si procede la demolición o bien el refuerzo generalizado de la estructura.
--	--	---

Tabla 5: Clasificación y evaluación preliminar de daños (Iglesias J., Francisco Robles, 1986)

Si el resultado de la evaluación preliminar concluye la no demolición inmediata, se deberán de definir las medidas de emergencia apropiadas para garantizar la protección temporal mientras se lleva a cabo el estudio de la rehabilitación definitiva (apuntalamiento), este proceso debe de hacerse de manera inmediata recurriendo si es posible a programas de dimensionamiento o tomando en cuenta la experiencia.

2.2 INSPECCIÓN DETALLADA

Es un complemento de la investigación preliminar y debe ponerse un especial cuidado en la planeación y en la ejecución de la misma, es conveniente obtener y revisar todos los documentos ya analizados y otros adicionales relacionados con la estructura, tener planos de la construcción real, planos de modificaciones, adiciones o reparaciones que haya tenido la estructura, estudios de durabilidad, etc.

Al igual que la investigación preliminar es necesario haber estudiado toda la información que se haya recolectado y realizar un examen detallado de la estructura.

Antes de iniciar el examen de la estructura es conveniente hacer una visita de reconocimiento al lugar de la construcción haciendo un registro fotográfico para definir (Planeación) los recursos humanos y físicos que se requieren, la necesidad de servicios especializados, requerimientos de permisos, la necesidad de evacuar o cerrar la estructura durante el examen, etc.

Cuando no se tiene la información necesaria y adecuada para establecer las condiciones de la estructura o sus materiales componentes, habrá necesidad de hacer ensayos complementarios a los de la inspección preliminar, la norma ASTM-823 da una guía bastante adecuada para el desarrollo de un programa de muestreo.

La Patología del concreto demanda trabajar con especialistas en diversos campos de la Ingeniería y la Tecnología, es importante por ello definir con el dueño del proyecto el alcance de este estudio debido a que se pueden generar los siguientes tipos de informes:

- a) Reporte técnico de observaciones
- b) Informe de inspección, evaluación y diagnóstico
- c) Informe de evaluación, diagnóstico y recomendaciones de rehabilitación

En el reporte técnico, se elabora un documento donde se indican los antecedentes del proyecto y se enumeran las circunstancias observadas en el reconocimiento, así como los resultados de los exámenes efectuados en la visita al sitio del proyecto.

Un Informe de inspección, evaluación y diagnóstico, es un documento que se elabora con el objeto de emitir un "dictamen" y se basa en una inspección que

puede estar acompañada por mediciones, auscultación y/o exploración, ensayos, análisis de los mismos y una valuación estructural.

Un Informe de evaluación, diagnóstico y recomendaciones de rehabilitación es similar al anterior, más las recomendaciones que surjan del pronóstico.

El reglamento del D.F. establece que las estructuras deben estar apuntaladas de tal manera que garanticen la estabilidad de las estructuras, el apoyo vertical auxiliar de columnas y muros de carga seriamente dañados será la primera medida en un sistema de protección, es evidente que se requiere apoyo en el piso del elemento dañado.

Al revisar la resistencia a cortante en la unión losa-columna es más confiable apuntalar los pisos completos inferiores, los elementos de soporte vertical deben apoyarse en superficies horizontales para evitar el punzonamiento o penetración del apoyo en la losa (tablones, vigas de madera o placas de acero en el caso de cargas grandes).

Se debe procurar que todos los puntales sean colineales en todos los niveles, es necesario transmitir la carga hasta la cimentación o incluso adaptar una cimentación provisional, la distancia entre los apoyos verticales debe ser la mínima posible pero, dejando espacio para las reparaciones (en las figuras 20 y 21 se presentan algunos detalles de apuntalamiento).

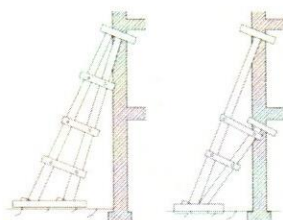


Figura 20: Apuntalamiento de muros

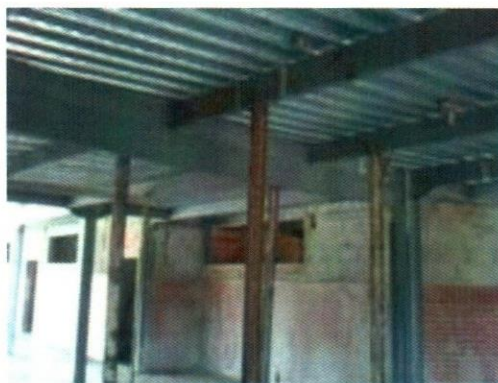


Figura 21: Apuntalamiento de losas

Los polines de madera (pino) 4 x 4, vigas de 4 x 8 plg., tablones de 2 plg. de espesor y tablas o duelas de madera de 3/4 a 1 1/2 plg., son elementos frecuentemente usados, vienen en diferentes anchos (Figura 22).



Figura 22: Polines, vigas y tablones de madera comúnmente usados

La eficiencia de elementos aislados puede incrementarse con arriostramiento, la cual disminuye las longitudes efectivas de pandeo, si las cargas son grandes debe recurrirse a perfiles de acero. La alternativa de apuntalamiento con perfiles de acero, cables o viguetas tiene la ventaja de no estar expuestos a pandeo.

Los cables deben estar ligeramente tensados con templadores, deben revisarse los efectos que los tirantes ejercen sobre vigas y columnas, los detalles de conexión deben revisarse cuidadosamente, el acuanamiento del apuntalamiento puede hacerse con cuñas de madera dura, seca y libre de nudos, gatos mecánicos y gatos hidráulicos.

Para soportar sistemas de piso o techos ligeros puede elegirse combinaciones de elementos tubulares (Figura 23).



Figura 23: Columna tubular para apuntalamiento

Debe proporcionarse soporte lateral a los muros para evitar caídas en réplicas de sismos u otras acciones horizontales con un apuntalamiento exterior, los puntales pueden estar formados por dos vigas unidas por pernos colocados a distancias convenientes según las fuerzas que se estima recibir, la inclinación de los puntales no debe ser mayor de 45° y de preferencia a 25° , el apoyo sobre el suelo debe ser adecuado, ajustándolos con cuñas de madera.

El apuntalamiento puede ser con perfiles de acero o tubulares, si no se dispone de espacio suficiente, deben utilizarse tirantes de acero que unan los muros y, en ocasiones será necesario poner contraventeo.

Los edificios a base de marcos, deben rigidizarse por medio de contraventeos formados por miembros diagonales de madera o de acero que trabajen a compresión y acuñados en sus extremos, para que trabajen efectivamente.

Debe revisarse que la resistencia a cortante tanto de la viga como de la columna en los apoyos de los puntales inclinados, sea suficiente para resistir las componentes debidas a tales elementos rigidizantes, si las columnas no tienen la capacidad de resistir las componentes verticales introducidas por el contraventeo será necesario colocar más elementos verticales.

Al evaluar el estado de una estructura dañada, es necesario conocer su capacidad de resistencia inicial a los sismos para comprender su comportamiento y las causas de los daños presentados, utilizando métodos de diseño como: análisis aproximado, análisis convencional o análisis no lineal, métodos que aportarán al ingeniero responsable datos importantes que aunados a su experiencia pueden complementar su investigación

Debe ponerse atención en localizar a las partes débiles de una estructura como la existencia de:

- a) Columnas cortas
- b) Cambios abruptos en rigidez y estructuración en elevación
- c) Torsión excesiva por una inadecuada de la rigidez de la planta
- d) Conexiones columna – losa
- e) Incompatibilidad de deformaciones entre marcos y muros diafragma
- f) Conexiones excéntricas viga – columna

Si el estudio concluye que, la capacidad de la estructura original cumple con las normas vigentes, los daños son ligeros y se originaron en pocos elementos entonces, lo procedente será solo restaurar la estructura.

Si el resultado fuere lo contrario, será entonces necesario un refuerzo de la estructura, en ambos casos, es necesario mejorar la ductilidad.

El refuerzo de elementos provoca cambios importantes en su rigidez, resistencia y capacidad de deformación de la estructura que, incide en la magnitud de las fuerzas sísmicas, ya que estos cambios afectan su respuesta dinámica.

Es importante considerar, cual es el papel del sistema estructural existente como parte de la estructura reforzada, ya que es posible que la estructura existente no pueda aprovecharse para resistir carga lateral, lo que implica su desconexión del sistema estructural sismo-resistente por medio de la introducción de elementos de refuerzo con muy alta rigidez lateral.

Es más deseable tener una contribución importante del sistema estructural existente al sistema sismo-resistente de la estructura reforzada, lo que implica tener un sistema de refuerzo con una rigidez lateral similar o ligeramente mayor que la correspondiente a sistemas estructurales existentes, la solución técnica del problema dependerá de las condiciones sociales, económicas y culturales que rodean al proyecto de rehabilitación.

El sistema estructural de refuerzo debe ser conservador, regular y simple y debe corregir irregularidades de resistencia, rigidez y masa, es importante no concentrar los elementos de refuerzo en unos cuantos puntos de la estructura, sino repartirlos a lo largo, ancho y alto de la misma (Figura 24).

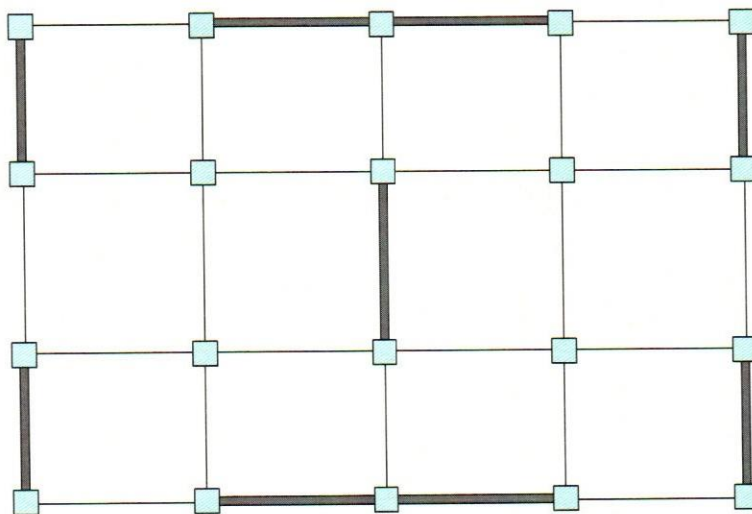


Figura 24: Distribución uniforme de elementos rígidos (barras oscuras) (Gilmore)

Cuando se añaden elementos muy rígidos a una estructura existente, la estructura original no contribuye de manera importante a resistir las cargas laterales y veces resulta conveniente descargar la estructura existente ante carga lateral, de manera que solo soporte cargas gravitacionales.

La concentración y redistribución de cargas resultantes del refuerzo de elementos existentes, puede llevar a la necesidad de reforzar la cimentación, lo

CAPÍTULO 3

MATERIALES DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Las técnicas de reparación y refuerzo plantean alternativas, la solución será la que logre conciliar las limitaciones de cada caso considerando su costo, funcionalidad, espacio, estética, importancia social y dificultad técnica.

Deben analizarse esfuerzos en el material de reparación y en la interface entre la reparación y el concreto existente, éstos deben estar dentro de la capacidad de los nuevos materiales y de los existentes para que no se produzca una falla.

La contracción de muchos materiales de reparación es mayor a la contracción del concreto normal, sus efectos inducen esfuerzos de tensión en el material de reparación y esfuerzos de compresión en el sustrato, la tabla 6 muestra los efectos de las varias relaciones de agua/cemento/agregados en la contracción.

Relación agua/ cemento						
Relación agregado/cemento		0.4	0.5	0.6	0.7	
	3	0.08	0.12			Contracción alta
	4	0.055	0.08	0.105		
	5	0.04	0.06	0.075	0.085	Contracción moderada
	6	0.03	0.04	0.055	0.065	
	7	0.02	0.03	0.04	0.05	Contracción baja

Tabla 6: Efecto de las relaciones agua/cemento agregados en la contracción (H.Emmons, 2005)

El material de reparación debe ser colocado y curado, después de que el material alcance la resistencia requerida se permitirá que la carga descansa sobre los elementos reparados, la reparación de estructuras de concreto necesita materiales adecuados que sean capaces de alcanzar rápidamente su resistencia y mantener su adherencia definitivamente.

Debe existir compatibilidad entre las resistencias del concreto existente y de los materiales de reparación (coeficiente de dilatación térmica, módulo de elasticidad, propiedades rheológicas como retracción y fluencia).

Algunos productos se comercializan ya dosificados, con instrucciones precisas para su aplicación, entre los materiales usados para reparación y reforzamiento están:

- 3. 1 Resinas
- 3. 2 Adhesivos y primer
- 3. 3 Lechadas y morteros
- 3. 4 Concretos
- 3. 5 Placas metálicas y perfiles
- 3. 6 Fibras de carbono, vidrio y aramida (laminados)
- 3. 7 Grapas
- 3. 8 Acero galvanizado

3.1 RESINAS EPÓXICAS

Las Resinas Epóxicas, son materiales que tienen resistencias varias veces superiores a las del concreto, los sistemas epóxicos pueden tener adiciones o aditivos para modificar algunas de sus propiedades como flexibiladores, diluyentes, reactivos, etc., presentan baja viscosidad, mínima retracción, excelente adherencia y rápido endurecimiento, se puede encontrar una gran

variedad de productos epóxicos, éstos deben satisfacer los requisitos de la ASTM-C 881 (Sika, la reparación y Protección del Hormigón armado con Sika).

3.2 ADHESIVOS Y PRIMER

Adhesivos y Primer, son materiales usados como puente de adherencia entre dos elementos generalmente el concreto viejo (sustrato) y el nuevo, el Primer, además de actuar como adherente protege al sustrato, los más usados son los de base epóxica y los de látex.

3.3 LECHADAS Y MORTEROS

La lechada es un material fluido y autonivelable, de alta adherencia, permeabilidad y resistencia, sin contracciones en el estado endurecido, está formada por cemento Portland común, cemento con adiciones o cemento de alta resistencia inicial, agregados de granulometría adecuada, aditivos expansores y aditivos superplastificantes, es conveniente aplicarlo en reparaciones locales, de acceso difícil o en secciones densamente armadas.

Los morteros y lechadas orgánicas, son formulados con resinas orgánicas, donde la unión y la resistencia del conjunto está dada por las reacciones de polimerización y endurecimiento de los componentes de las resinas, tienen elevada adherencia, resistencia mecánica y química, y bajo módulo de deformación longitudinal.

Los morteros de base epóxica, están formados por la resina epóxica, el endurecedor (amina y/o poliamidas) y agregados seleccionados, son de excelente resistencia a ácidos no oxidantes, a los álcalis y a unos solventes orgánicos, son atacados por ácidos oxidantes, blanqueadores y ambientes muy alcalinos, tienen óptimas propiedades físicas y mecánicas y de adherencia (Helene, 1997).

Los morteros de base Fenólica, están constituidos de aglomerantes de resina de fenolformaldeído con relleno (sílica, carbono o barita), un catalizador ácido, de buena resistencia a los ácidos minerales, soluciones de sales inorgánicas y soluciones levemente oxidantes, son atacados fuertemente por el ácido nítrico, crómico y sulfúrico concentrado, de comportamiento satisfactorio en soluciones levemente alcalinas, de poca resistencia a los álcalis (Helene, 1997).

Los morteros a base de Poliéster y de base estervinílica, están constituidos por resina en solución, catalizador y relleno inerte, de excelente resistencia química, mecánica y óptima resistencia a la mayoría de los ácidos, no resisten a los productos caústicos ni a los blanqueadores, los morteros de base estervinílica tienen mayor resistencia química y térmica que los de base epóxica (Helene, 1997).

Los morteros de base furánica, constituidos por resina líquida, catalizador y relleno (sílica, carbono, barita o coque pulverizado), son resistentes a ácidos no oxidantes, a álcalis y a productos muy solventes de sales, gasas, aceites, grasas y detergentes, pueden ser usados hasta temperaturas de 200°.

Los morteros de azufre, son compuestos fundidos en caliente, están compuestos de azufre, sílica inerte, relleno de carbono y plastificantes, los plastificantes reducen la fragilidad, mejoran las propiedades mecánicas e impiden la conversión del azufre a una forma cristalina inapropiada, son útiles para la protección contra ácidos oxidantes, cuando contienen carbono son adecuados para la protección contra la combinación de ácidos oxidantes y ácidos fluorídricos, la resistencia térmica de los morteros de azufre es relativamente baja, de baja resistencia química frente a soluciones alcalinas fuertes y ciertos tipos de solventes orgánicos.

Los morteros Tradicionales, son elaborados con cemento Portland, utilizan arena silíceo limpia, sin materia orgánica o arcillas, de una granulometría de acuerdo a las Normas, pueden utilizar aditivos necesarios para obtener las

características deseadas, expansores y plastificantes y eventualmente adiciones de cenizas volcánicas o micro sílice.

El mortero de reparación Hidráulico, consiste en un mortero pre-dosificado de granulometría especial para determinados espesores de recubrimiento, de alta resistencia y adherencia, módulo de elasticidad similar al concreto, carece de resinas destinadas a mejorar las capacidades mecánicas.

El mortero de reparación hidráulico modificado con polímeros (morteros con látex o de base mineral), son morteros a base de cemento Portland modificados con polímeros que usan agregados de una granulometría adecuada, formulados con aditivos y adiciones que les confieren propiedades especiales, son de contracción compensada y tixotrópicos.

Los morteros hidráulicos predosificados, son de fácil uso y ejecución, necesitan una película de impregnación que garantiza su adherencia con el concreto existente, existen en el mercado morteros especiales fabricados a base de cementos de alta resistencia, arena silíceo o cuarzo de granulometría controlada, con aditivos y adiciones que le confieren características especiales.

Los morteros de consistencia seca, se usan para reparación de huecos, no pueden utilizarse para depresiones poco profundas o para huecos que atraviesan completamente la sección, ni en reparaciones que se extiendan más allá del refuerzo.

Los Grouts, son fabricados con cemento, aditivos y arenas seleccionadas, que se distribuyen en dosificaciones específicas para obtener morteros de baja contracción, desarrollan altas resistencias a edad temprana, éstos materiales son útiles para el anclaje de conectores metálicos en concreto existente, rellenar huecos pequeños, y para mejorar la adherencia entre el concreto nuevo y el existente.

3.4 CONCRETOS

Sus propiedades deben ser similares a las del concreto existente (determinadas por pruebas no destructivas), en la mayoría de los casos con el tiempo, el $f'c$ del concreto puede ser mayor que el $f'c$ de diseño y debido a esto, se sugiere que el $f'c$ del concreto nuevo sea mayor que el del concreto existente en 50kg/cm^2 y que tenga por lo menos un $f'c = 250\text{ kg/cm}^2$ (Jesús Iglesias J., Francisco Robles, 1986).

El concreto Preenvasado, es útil para llevar a cabo reparaciones bajo el agua y otros lugares donde la accesibilidad es un problema, se forma por agregados gruesos, llenando los huecos con una mezcla de cemento – arena.

Los concretos y morteros de fraguado rápido, son morteros elaborados con cemento aluminoso de fraguado rápido y alta resistencia inicial, con el tiempo pierden resistencia por la transformación morfológica de los cristales de aluminato

El microconcreto, es un concreto de altas prestaciones, autocompactable de alta resistencia, aporta resistencia tangencial cuando el deslizamiento relativo entre las caras de la columna y el refuerzo es pequeño.

El concreto lanzado (Shotcrete), se utiliza para volúmenes muy grandes, puede ser seco o húmedo, el seco tiene el problema del rebote siendo, cada vez más usadas las fibras de acero que lo disminuyen y mejoran su comportamiento mecánico (IMCYC, 2010).

El concreto lanzado es una mezcla de cemento portland, arena y agua, se aplica con disparos de aire comprimido, la arena y el cemento se mezclan en seco en una mezcladora, la mezcla es transferida por aire a presión a través de una tubería o manguera, donde se proyecta en la superficie por revestir.

3.5 PLACAS METÁLICAS O PERFILES

Se adhieren a la superficie del concreto con resinas o morteros, mejoran la capacidad a cortante y a flexión del elemento.

3.6 FIBRAS (LAMINADOS)

Los laminados de fibras de carbono, vidrio y aramida, tienen altas resistencias mecánicas, de fácil de manejo y aplicación, no sufren corrosión, son ligeras, muy delgadas, de alta resistencia a la tensión.

Esta tecnología consiste en láminas secas de alto desempeño construidas con fibras de carbono grado aeroespacial, aramida o de vidrio.

Las resinas poliméricas complementan el proceso de aplicación de fibras, se recomiendan entre otros usos para refuerzo antisísmico, tienen en dirección de la fibra una alta resistencia y rigidez, de comportamiento excepcional a la fatiga mejor que la de acero, su densidad es muy baja, la resistencia a tensión en dirección transversal a las fibras, así como la resistencia a cortante son bajas, las características mecánicas en dirección longitudinal son determinadas por el tipo de fibras y por el contenido en volumen de fibras (Sistema MBrace).

3.7 GRAPAS

Son barras dobladas en forma de una "U" (Figura 26), se utilizan para coger al concreto y para evitar el cortante a lo largo de la grieta.

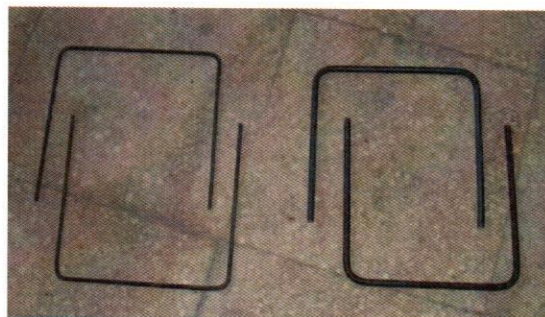


Figura 26: Grapas en forma de "U"

3.8 ACERO GALVANIZADO

En condiciones ambientales muy agresivas puede usarse el acero galvanizado, ya el zinc que contiene, tiene una mayor tolerancia a los cloruros, no es afectado por carbonatación y su velocidad de corrosión es muy lenta, numerosos estudios comprueban su excelente adherencia al concreto y resistencia al corte; la soldadura y la perforación deben de hacerse antes de galvanizar para evitar zonas sin protección (AvGal, 2012).

Compañías como Sika, Sistema MBrace, BASF, EMACO, MAPEI, EMACO, MELON, FESTER, etc.) presentan una gama de soluciones para la protección y reparación de estructuras de concreto, las tablas 7, 8 y 9 presentan algunos productos.

Sika Top 121	Mortero adhesivo de reparación y de relleno, base cemento y resinas acrílicas, de alta adherencia, resistencia e impermeabilidad, resistencia química superior a la del concreto o mortero convencional, no es corrosivo.
Sikadur 31 Hi modGel	Adhesivo de alta resistencia, tixotrópico a base de resinas epóxicas y cargas inactivas, exento de solventes, con altas resistencias mecánicas a la abrasión e impacto, resistencia química excepcional contra agua, aceite, gasolina.
Sika Wrap 230 C/90	Tejido de fibra de carbono unidireccional, repara estructuras de concreto para prevenir acciones sísmicas y para mitigar daños de explosión en estructuras de baja densidad.
Sika	Tejido de fibra de carbono unidireccional para reparar estructuras de concreto, para

Wrap530 C/105	prevenir acciones sísmicas y para mitigar daños de explosión en estructuras de baja densidad.
Sika Wrap 300 CZ/60	Tejido de fibra de carbono unidireccional, para reparar estructuras de concreto para prevenir acciones sísmicas y para mitigar daños de explosión en estructuras de baja densidad.
Sika Carbo Dur	Láminas de polímero reforzado con fibras de carbono fabricadas mediante el proceso de pultrusión, diseñadas para reforzamiento de estructuras de concreto, de muy alta resistencia y no se corroe
SIKA Mono Top 352 SFG	Mortero de reparación aligerado cementoso modificado con polímeros, de alto espesor, de baja retracción, reforzado con fibras con inhibidores de corrosión, resistente a sulfatos, de buena adherencia y baja permeabilidad a los cloruros
Sikadur Combiflex	Cintas para sellado de juntas y grietas, altamente flexibles fijadas firmemente con un adhesivo epóxico especial, resistentes al agua y a la intemperie con buena resistencia química, de buen comportamiento a bajas temperaturas.
Sika Wrap	Tejido de fibra de carbono para reforzamiento estructural, unidireccional, mejora la capacidad a flexión y corte de las estructuras.
Morteros epóxicos PAV	Mortero de reparación elaborado a base a resinas epóxicas, de endurecimiento rápido y sin retracción, de elevada adherencia, de excelente resistencia mecánica, resistencia al desgaste y al impacto.
Morteros reparaciones SIKA REP	Mortero reforzado con fibras, de alta calidad con características tixotrópicas, basado en aglomerantes cementicios, fibras sintéticas, microsílíce, aditivos especiales y agregados inertes de granulometría controlada.
Sikalisto	Mortero rápido de reparación, adquiere rápida resistencia a base de conglomerantes especiales, aditivos y adiciones.
Sikalisto Repair Plus	Mortero de reparación impermeable y expansivo a base de cemento, para realizar reparaciones impermeables, es un producto tixotrópico y autosoportante, de elevada resistencia mecánica a la compresión y a la flexotensión de expansión controlada.
Sikalisto. Mix A Multiuso	Mortero para reparaciones, usado para reparar fisuras, grietas, de excelente adherencia.
Placas de fibra de carbono	Placas de reforzamiento estructural, limitan deformaciones, reducen el esfuerzo en el acero de refuerzo, de poco espesor, de alta resistencia a la tensión, resistentes a los álcalis, no son corrosivos.
Sikadur 32 Gel,	Adhesivo estructural de concreto fresco con concreto endurecido, a base de resinas epóxicas libre de solventes.
Anchor Fix 4	Sistema epóxico para anclajes estructurales, libre de solventes, tixotrópico, insensible a la humedad de alta resistencia y alto módulo de elasticidad.

Sikadur 32Hi Mod LPL	Adhesivo epóxico de alta resistencia y módulo de elasticidad, tolerante a la humedad para reparación de concreto
Sikadur 30	Adhesivo de uso estructural para láminas compuestas, libre de solventes, elaborado a base de una combinación de resinas epóxicas y agregados especiales formulado para uso a temperaturas de 8 a 35 °C
Sikadur 31 SBA S – 03	Adhesivo estructural, tixotrópico, libre de solventes y especialmente formulado para la unión de segmentos prefabricados, para temperaturas entre 20 y 35°C, no presenta contracción y tiene buena resistencia química.
Sikadur 52	Sistema a base de resina epóxica modificada, exento de solventes, de excelente fluidez, se utiliza para inyecciones de grietas sin movimiento del concreto, como base para confeccionar morteros epóxicos de reparación, de excelente adherencia, de alta resistencia mecánica.
Sikadur 53	Adhesivo epóxico, libre de solventes y con adiciones especiales para adherir y curar aún sumergido en agua, se utiliza para reparación sin contracciones de elementos de concreto, de alta resistencia química aplicable en aguas saladas
Sikadur 35 H Mod LV	Adhesivo epóxico multipropósito, tolerante a la humedad, de baja viscosidad y de alta resistencia, se usa para inyección a presión de grietas con propósito estructural en elementos de concreto, de excelente fluidez, resistente al ataque químico

Tabla 7: Productos de reparación de concreto SIKA (Sika, Manual Sika 2005 para web p65)

Saturant LTC.	Resina epóxica de baja viscosidad, se aplica en el sistema compuesto de refuerzo MBrace, usado para encapsular cualquier lámina de fibra de vidrio, de carbono y de aramida, diseñado para trabajar a temperaturas ambientales bajas.
Putty.	Pasta epóxica de alta viscosidad, se utiliza para rellenar pequeños huecos, en sellado de grietas antes de inyectar el compuesto epóxico, al trabajar con láminas de diversas fibras MBrace, proporciona una lámina FRP de alto desempeño, restablece la capacidad de estructuras de concreto deterioradas, confina reparaciones de concreto.
Primer	Compuesto epóxico de baja viscosidad, curado con poliaminas, utilizado para penetrar en la estructura porosa de los substratos cementicios proporcionando una capa base de alta adherencia para el sistema MBrace, mejora la capacidad de soporte de carga de estructuras de concreto
MBrace Laminate	Laminado prefabricado de alta resistencia en base a fibra de carbono/epoxi, aumenta la resistencia y rigidez de estructuras de concreto y mampostería, se adhiere al concreto o a la mampostería con resinas epoxi en pasta, no se

	corroe.
CF 160	Tejido de fibra de fibras de carbono unidireccional de alta resistencia para el sistema compuesto de refuerzo MBrace, aumenta la ductilidad sísmica en columnas de concreto.
CF 130	Tejido de fibra de fibras de carbono unidireccional de alta resistencia para el sistema compuesto de refuerzo MBrace, mejora la capacidad de cargas vivas, la ductilidad, el comportamiento sísmico de elementos de concreto, de muy alta resistencia en relación al peso, soporta condiciones de carga cíclica y sostenida, extremadamente durable.
CF 530	Tejido de fibra de fibras de carbono unidireccional de alta resistencia para el sistema compuesto de refuerzo MBrace, presenta extraordinarias propiedades físicas y mecánicas.
AK 60	Laminado de fibra de aramida unidireccional, usa los polímeros del sistema MBrace de alto desempeño, y da por resultado un sistema de refuerzo FRP (polímero reforzado con fibras) de gran adhesión, de extraordinarias propiedades físicas y mecánicas, mejora la resistencia de estructuras de concreto sujetas a cargas explosivas, a impacto o desgaste excesivo, se aplica en refuerzo de ambientes sensibles a cargas eléctricas donde las fibras de carbono no pueden aplicarse por su conductividad, no es corrosivo, no contribuye a la corrosión galvánica, fácil de ocultar.
EG900	Lámina de fibra de vidrio tipo "E" unidireccional de alta calidad, incrementa la resistencia y desempeño estructural de estos elementos, de extraordinarias propiedades físicas y mecánicas.
Refuerzos de fibras M Brace	Refuerzos de fibras de carbono, de vidrio y de aramida proporcionan reforzamiento antisísmico, mejoran la resistencia y ductilidad, confinan y dan resistencia adicional a las conexiones de concreto, reducen el riesgo de fallas frágiles por cortante.
Mbar 500 NSM	Barra rectangular de fibra de carbono de alto desempeño utilizada para el refuerzo de estructuras de concreto, de extraordinarias propiedades físicas y mecánicas, aumenta la capacidad de soporte de carga de estructuras de concreto y mampostería, la capacidad de flexión y corte, protege contra daños mecánicos y mejora la resistencia al fuego.

Tabla 8: Productos de reparación de concreto MBrace (Sistema MBrace)

SHOTPATCH 21F	Mortero reforzado con fibras pre-empacado, mejorado con microsilica, de alta calidad incluye un inhibidor integral para la corrosión, de alta resistencia, adhesión, baja permeabilidad y excelente resistencia a los ciclos de hielo-deshielo y al desconchado por sales.
SET 45 y SET 45 HW	Mortero de reparación a base a fosfato de magnesio, set 45 es para temperaturas menores a 29 °C y SET 45 HW para temperaturas entre 29 y 38 ° C, de gran adherencia, y muy baja contracción por secado.
Mbar 200 NSM	Barra de fibra de carbono de alto desempeño usada para refuerzo de estructuras de concreto, extraordinarias propiedades físicas y mecánicas, aumenta la capacidad de soporte de flexión y corte, proporciona adecuación antisísmica.
Masterpatch 205	Sistema de reparaciones de concreto de bajo espesor, autocurable, no necesita la aplicación de compuestos para curado y otros métodos, de alta capacidad de adherencia, puede emplearse bajo el nivel freático, impermeable, soporta condiciones de carga cíclica y sostenida de excelente resistencia a la deformación y fatiga.
Emaco T430.	Mortero de reparación cementicio de alto desempeño, de excelente adherencia, proporciona altas resistencias iniciales y finales a compresión, flexión y adhesión.
Emaco T415	Mortero de reparación cementicio de alto desempeño, de altas resistencias iniciales, rápido fraguado, excelente adherencia.
Emaco S66CL	Concreto de reparación rheoplástico, fluido de contracción compensada, alta adherencia y resistencia a sulfatos y cloruros, alta resistividad eléctrica, baja permeabilidad, alta resistencia a compresión y con inhibidor contra la corrosión.
Emaco S88CL	material reforzado con fibras, de contracción compensada, contiene un inhibidor integral de la corrosión, se ha mejorado adicionando microsilica para dar a las reparaciones de concreto estructural una mayor resistencia y desempeño, resistente a sulfatos y a ciclos de hielo y deshielo, de permeabilidad extremadamente baja, proporciona altas resistencias iniciales y finales a compresión, flexión y adhesión.
Emaco S88CA	Mortero rheoplástico reforzado con microsilice, de alta resistencia con base cementicia y contracción compensada, de muy baja permeabilidad, resistente a los sulfatos, durable ante ciclos de hielo y deshielo, proporciona altas resistencias iniciales y finales a compresión, flexión y adhesión.
Emaco S77 CL	Mortero de reparación de estructuras, con anticorrosivo integral, de contracción compensada, baja permeabilidad, resistente a sulfatos y a ciclos de hielo y

	deshielo, resistente a la penetración del agua y a iones cloruro, reduce el esfuerzo en el punto de adhesión.
Emaco R370	Mortero de relleno y reparación, cementicio modificado con aditivos especiales para obtener un mortero cohesivo, de buena adherencia al sustrato, mejora la impermeabilidad, se recomienda para reparación de losas de concreto
Emaco R350 CL	Mortero modificado con polímeros, de bajo peso, contracción compensada, con anticorrosivo integral, ideal para parcheos y reparación del concreto deteriorado, de baja permeabilidad y módulo de elasticidad, resistente a la entrada de humedad y iones de cloruro, mejora la adherencia en todas las áreas del concreto.
Emaco R310 CL	Mortero de reparación con anticorrosivo integral, de base cementicia modificada con polímeros, de baja permeabilidad y módulo de elasticidad, resistente a la entrada de humedad y iones de cloruro, resistente a la abrasión, desarrolla rápidamente la resistencia, de contracción compensada, reduce el esfuerzo en el punto de adherencia.
Emaco R300 CL	Mortero de reparación tixotrópico, base cementicia modificado con polímeros con anticorrosivo integral, de fraguado rápido, resistente a cloruros y carbonos, de contracción compensada, de baja permeabilidad, resistente a la entrada de humedad y iones de cloruro, de bajo módulo de elasticidad.
Emaco FS	Mortero de reparación cementicio modificado con polímeros de rápido fraguado, de alta resistencia a la compresión.
Emaco S66 CE	Concreto de reparación rehoplástico, fluido, de contracción compensada, adherencia excelente, alta resistencia a sulfatos y cloruros, a la compresión y con un inhibidor contra la corrosión, de baja permeabilidad, resistente a la penetración de humedad y iones de cloruro, resistente a sulfatos y a ciclos de hielo - deshielo, resistente a la abrasión.
Emaco P24	Agente adherente cementicio/epóxico acuoso, de buena adherencia del concreto plástico al concreto endurecido, contiene un inhibidor para la corrosión integral, de alta alcalinidad similar al concreto.
THOROC IC-2415 CPR	Producto de poliurea de ultra baja viscosidad y rápido curado, se usa para reparar concreto agrietado o desconchado, con características de adhesión excelentes, penetra profundamente en el concreto, de alta resistencia.
Selbachem. 6631	Sistema de recubrimiento epóxico autonivelante, se utiliza en concreto moderadamente dañado, protege contra bacterias y formación de hongos, ideal para ambientes fríos o calientes
Selbachem.6611	Sistema de recubrimiento epóxico resistente a productos químicos, se utiliza en

	concreto moderadamente dañado, protege contra bacterias y formación de hongos, ideal para ambientes fríos o calientes
Emaco T100	Formulado con cementos hidráulicos de altas resistencias y agregados.
Emaco R110 C	Mezcla para emparche a base de cemento, de rápido fraguado y buena adherencia
IC 2415 CPR	Producto de poliurea de ultra baja viscosidad y rápido curado, penetra profundamente en el concreto
Masterpach 21	Mortero a base de arena y cemento que además incluye aditivos especiales y microfibras.
Concresive 1090,	Adhesivo epóxico diseñado para aplicaciones donde se requieren altas resistencias iniciales, se utiliza para unir concreto nuevo a concreto existente.
Concresive 1380	Resina de adherencia para secciones de concreto agrietado con grietas estáticas, se usa en el "grouteo" a presión
Epofil	Resina epóxica de baja viscosidad para inyección de grietas sin movimiento
Concresive 1430	Adhesivo epóxico con alta resistencia a la flexión, compresión y tensión, insensible a la humedad, aplicable para grietas estáticas
APE Camisas translúcidas	Laminado FRP de grado marino, construido con capas de manto tejido y tejido aglomerado, las camisas permanecen en posición y forman parte del sistema compuesto de reparación, trabaja en combinación con los "grouts" Marter Flow o Emaco para completar reparaciones de concreto
APE Pasta epóxica	Compuestos epóxicos, para unir costuras de camisas en reparaciones bajo el agua
APE Pasta epóxica Hidrocote 3061 – L	Sellador de grietas, en reparación de superficies de concreto deterioradas, desconchadas o despostilladas.
APE Pasta epóxica Hidrocote 1063	Sellador de grietas, en reparación de superficies de concreto deterioradas, desconchadas o despostilladas, relleno de cavidades y sellado de grietas grandes.
A-P-E Pile Grout	Sistema epóxico de relleno, con agregado especialmente diseñado para ser aplicado con un método pluricomponente sobre y debajo del agua.
EMACO Nanocrete FC	Mortero de nivelación superficial, de rápido fraguado modificado con polímeros, se emplea en reparaciones de capas finas, de acabado fino, de elevada resistencia a la compresión, bajo módulo de elasticidad y libre de cloruros

Tabla 9: Productos de reparación de concreto BASF (BASF)

CAPÍTULO 4

MÉTODOS DE COLOCACIÓN PARA REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

La técnica de colocación, debe llevar el material de reparación seleccionado hasta el sustrato preparado, la adherencia de la reparación del sustrato depende en gran medida del agarre mecánico con la superficie de concreto preparada, actualmente se tienen los siguiente métodos:

- 4.1 Encamisados de acero
- 4.2 Uso de perfiles metálicos, placas metálicas y bandas de acero
- 4.3 Concreto empaquetado en seco
- 4.4 Concreto lanzado
- 4.5 Grapado
- 4.6 Parcheo
- 4.7 Encamisados de concreto
- 4.8 Fibras de vidrio, carbono y aramida
- 4.9 Métodos de inyección
- 4.10 Método con postensado
- 4.11 Uso de disipadores de energía
- 4.12 Uso de barras en cruz
- 4.13 Método de agregado precolado
- 4.14 Método de capas superpuestas
- 4.15 Método de aplicación manual
- 4.16 Método de lechadeado externo
- 4.17 Método de reducción de esfuerzos
- 4.18 Método de contraventeo metálico

4.1 ENCAMISADOS DE ACERO

En muchos casos las columnas son protegidas con un encamisado de acero, que debe ser soldado longitudinalmente en el sitio, el espacio de 2 a 3 cm entre el concreto y el acero debe ser rellenado con un "grout" de alta resistencia, normalmente los conectores son utilizados para transmitir los momentos de la cimentación a la estructura, este método incrementa la capacidad de carga del elemento, las placas de acero son muy sensibles a altas temperaturas y deben ser aseguradas para que no se desprendan en caso de incendio, lo que se logra usando anclajes (Figuras 27 y 28).



Figura 27: Encamisados con placas de acero en columnas



Figura 28: Encamisados con placas de acero en vigas

4.2 PERFILES METÁLICOS, PLACAS METÁLICAS Y BANDAS DE ACERO

Son empleados donde la capacidad resistente del elemento sea insuficiente, consiste en colocar un ángulo metálico en cada esquina de la columna o elemento estructural y una serie de bandas de acero que, soldadas a los ángulos, unen estos ángulos entre sí para evitar su pandeo, este método se puede mejorar rellenando con mortero el espacio entre el elemento y el acero (Figura 29).



Figura 29: Refuerzo de columnas con perfiles de acero

Placas metálicas, este método es muy conveniente cuando no se desea interrumpir el funcionamiento de la estructura, excelente para el fortalecimiento de vigas y losas, las placas de acero van atornilladas o pegadas a la zona de tensión del elemento estructural con adhesivo epoxi, el aumento de la sección compuesta mejora de la capacidad de carga.

Bandas de acero, las columnas de concreto armado pueden ser reforzadas usando bandas de acero, unidas al elemento con anclajes o conectores, no deben ser usadas en temperaturas mayores de 55°, se adhieren a la estructura por medio de pernos que transmiten fuerzas cortantes a la losa o con sistemas de anclaje con adhesivos. El refuerzo externo adherido de placas de acero en las losas incrementa la capacidad de carga viva o deflexiones excesivas.

El acero se usa principalmente para reforzar conexiones o para proporcionar capacidad adicional a tensión, sus métodos de fijación permiten la transferencia de carga (cortante, tensión o compresión) entre el acero y el concreto.

En los métodos de anclaje mecánico puede existir vibración en la conexión, debiéndose usar anclas con resina o pernos a través de la conexión, en casos críticos debe considerarse una combinación de sistemas adhesivos y mecánicos.

Se puede reforzar columnas por el cortante que se forma en los sistemas de piso y columnas, utilizando collares de cortante (Figura 30) de acero o compuestos adheridos (resistentes a esfuerzos de penetración).

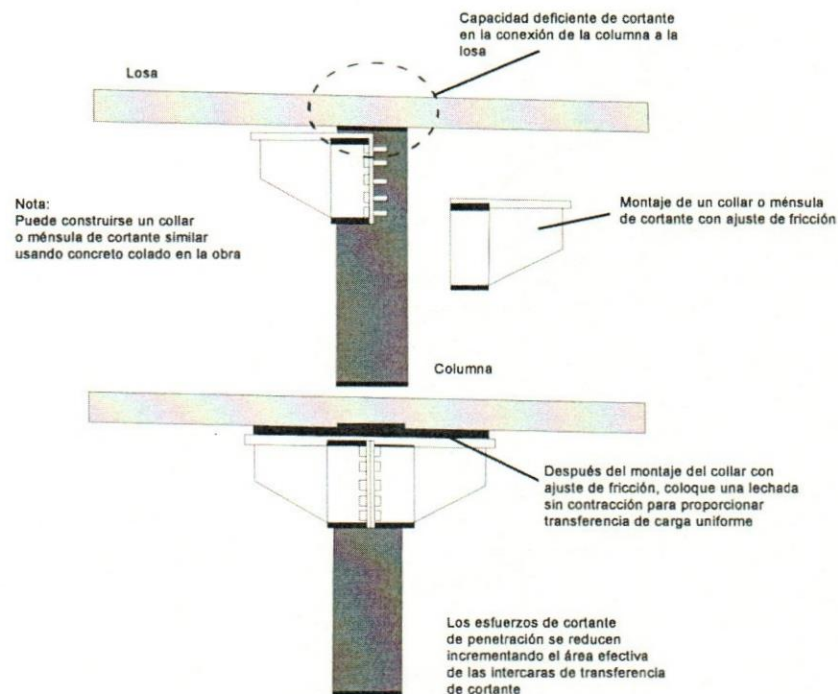


Figura 30: Reforzamiento de capacidad de cortante usando ménsulas o collares de cortante (H.Emmons, 2005)

Para el refuerzo de capacidad de momento de una columna, puede utilizarse elementos de acero adheridos, capas superpuesta de concreto, confinamiento continuo externo de una columna y construcción de muros de cortante (Figura 31)

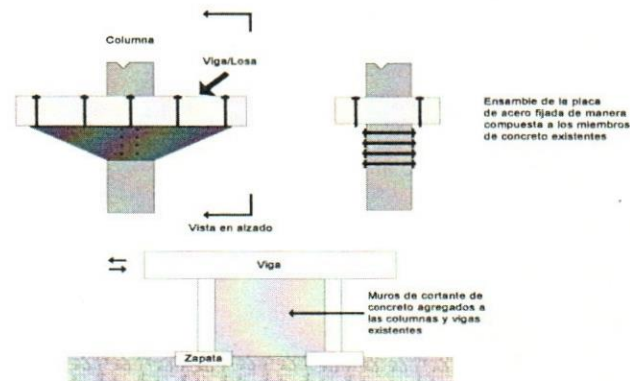


Figura 31: Reforzamiento de la capacidad de momento viga-columna (H.Emmons, 2005)

4.3 EMPAQUETADO EN SECO

Es un método para colocar mortero o concreto con revenimiento cero o casi cero apisonado en las cavidades superficiales, la consistencia del mortero seco debe ser tal que pueda ser moldeada en forma de bola sin sangrado excesivo y se coloca en capas, la compactación se logra con un palo de madera para evitar el pulido de la superficie, las mejores aplicaciones son en pequeñas cavidades (Figura 32).

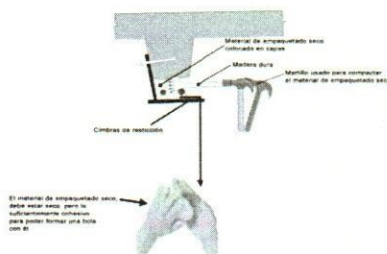


Figura 32: Método de empaquetado en seco (H.Emmons, 2005)

4.4 CONCRETO LANZADO

Como se mencionó, existen dos clases de concreto lanzado: en seco y húmedo, mezclado en seco involucra el premezclado del aglomerante y los agregados introducidos en un alimentador mecánico especial que dosifica los materiales premezclados introduciéndolos en una manguera, el material es transportado a través de la manguera con aire comprimido hasta una boquilla que está equipada con un anillo para agua, en donde el agua adicional se mezcla con el aglomerante y los agregados, la mezcla es expulsada en chorro desde la boquilla a gran velocidad y proyectada a las superficies de concreto preparadas (H.Emmons, 2005).

El proceso puede ser en capas múltiples, pero el grosor excesivo de estas puede dar como resultado desprendimientos en forma de costras, el uso de aditivos especiales ha ayudado a mejorar la trabajabilidad y el rendimiento del concreto lanzado.

Las propiedades de endurecimiento resultantes, son de mayores resistencias a flexión, a la compresión, resistencia a la congelación y el deshielo y al ataque de químicos, debe evitarse el uso de aceleradores químicos (se ha encontrado que causan mayor contracción al secado).

El concreto lanzado mezclado húmedo, involucra el premezclado de todos los ingredientes (excepto aceleradores), los materiales de reparación premezclados son colocados en un recipiente a presión y con una bomba son transportados hasta la boquilla de salida, donde se introduce aire comprimido, el material de reparación es lanzado a la superficie de concreto con el aire comprimido.

Los muros de concreto reforzado son frecuentemente reforzados con este método, la transferencia de fuerzas cortantes puede ser transmitida por medio de anclajes los cuales son embebidos en el concreto o fijados en el acero existente.

Las vigas de concreto son reforzadas también con concreto lanzado, el refuerzo adicional debe ser anclado en el elemento estructural existente, lo cual se logra perforando la viga existente y fijándolo con expansor de anclaje de base poliéster, el acero longitudinal se colocará usando separadores.

La segregación de los componentes de los materiales altera las propiedades físicas del material de reparación, reparaciones pequeñas y profundas se logran mejor con las técnicas de empaquetado seco, reparaciones delgadas de superficies que no incorporan refuerzo, se logran mejor con mortero agregado a mano o con concreto lanzado.

Para áreas muy delgadas (menos de 6.5 mm) o muy pequeñas la colocación manual es efectiva, para áreas grandes el concreto lanzado es la mejor opción.

4.5 GRAPADO

El procedimiento de engrapado, se utiliza generalmente en estructuras de albañilería o de concreto sin armar cuando la grieta es producida por cortante

4.6 PARCHEO

Puede ser utilizado para restaurar un astillado o desintegrado de concreto, las superposiciones utilizadas incluyen morteros, bituminosos compuestos y epoxicos, no se utiliza para grietas activas

4.7 ENCAMISADOS DE CONCRETO

Son ideales para elementos sujetos a sobrecarga de compresión tanto céntrica como excéntrica, en este proceso, el elemento original se envuelve con una corona de concreto incorporando una nueva armadura que dará continuidad y soporte al mismo.

Por lo general el elemento original deja de tener función resistente y la corona de concreto es la que tendrá esta función, en este método se usa cimbra y el material de reparación se coloca en la cavidad preparada, el material de reparación debe ser de baja contracción y proporcionar la fluidez necesaria.

Es necesario el varillado para remover el aire y proporcionar contacto íntimo con el sustrato del concreto existente, las vigas de concreto pueden ser reforzadas con este método, colocando nuevos estribos fijados con expansor de anclaje de base poliéster.

Si se usa el concreto, el calentamiento solar produce movimientos en la estructura y ocurrirán fracturamientos, en esta situación la mejor solución será utilizar placas de acero con anclas empotradas y adhesivos de agarre de fraguado rápido.

El uso de adhesivos permite una transferencia uniforme de carga y protección contra la corrosión en la interfase concreto-acero.

4.8 FIBRAS DE VIDRIO, CARBONO Y ARAMIDA

Son ideales para reparación o reforzamiento por sismos de estructuras de concreto y dañados por fuego, cubren las grietas protegiendo contra la corrosión del acero de refuerzo, incrementan significativamente la resistencia del muro a flexión y cortante, actualmente no existen reglas claras para el diseño de elementos de concreto reforzados con FRP, el ACI está desarrollando un documento (ACI 440 F – 99 – 1999) para proporcionar recomendaciones de diseño (Tatalean).

Tienen una alta relación resistencia–peso, buena durabilidad en ambientes agresivos, térmicamente estables, no exhiben fluencia sino que, tienen un comportamiento lineal elástico hasta la rotura, su coeficiente de dilatación es compatible con la del concreto (Figura 33).

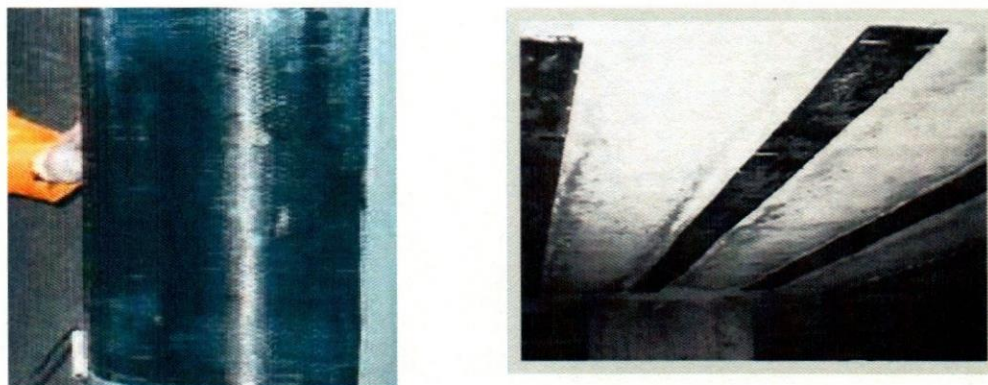


Figura 33: Encamisados de columna y losa con fibras o laminados

4.9 MÉTODO DE INYECCIÓN

Las grietas en el concreto pueden ser unidas por la inyección de los compuestos epoxi bajo presión, este método exige que la grieta sea inactiva o, eliminada la causa de la fisura para evitar que este problema se repita, la inyección de grietas con resinas sirve como una medida de protección contra la

humedad y corrosión del acero de refuerzo, estas reparaciones no aumentan la resistencia del muro (Fernández, 2002). La inyección de resinas a presión secundada por vacío es una técnica que asegura el relleno de las grietas sin salida y de las fisuras que no son penetradas por la inyección a presión (Figura 34).



Figura 34: Método con inyección de losa

Si existe una gradiente térmico significativo, en combinación con una capacidad de tensión deficiente en la parte inferior de una estructura, puede formarse una articulación,

Es aconsejable utilizar una abrazadera de cortante postensada y un apoyo deslizante de teflón que permita el movimiento de la articulación (Figura 35 y 36).



Figura 35: Reforzamiento de la capacidad de cortante de vigas en una articulación o grieta activa (H.Emmons, 2005).

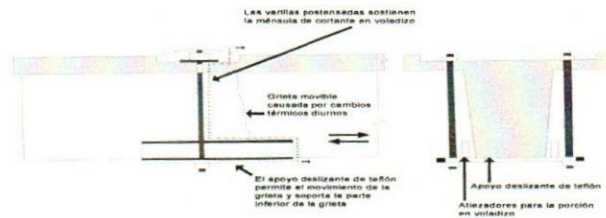


Figura 36: Reforzamiento de la capacidad de corte de vigas en una articulación o grieta activa (H.Emmons, 2005).

4.10 POSTENSADO

Es una técnica usada para reforzar el concreto reforzado, proporciona al miembro una capacidad inmediata y activa para soportar cargas, la colocación de los componentes de tensión puede realizarse interna o externamente, se utiliza para ellos capas de acero, varillas, tendones o torones.

La tensión puede ser impartida a los componentes por medio de un gato o por precalentado, el postensado aumenta la capacidad de un miembro a tensión, cortante, doblado y torsión, puede usarse esta técnica para eliminar desplazamientos no deseados y para convertir miembros discontinuos a miembros continuos, es un excelente método para incrementar la capacidad a flexión.

La varilla roscada de alta resistencia se usa comúnmente para tramos rectos y el torón en trayectorias curvas, previamente al reforzado cualquier grieta por flexión debe inyectarse con una lechada a presión de un epóxico para la distribución uniforme de la presión.

La fijación de herrajes externos a la estructura requiere de un mecanismo de transferencia de cortante o de un ensamble de apoyo en el extremo (Figura 37).

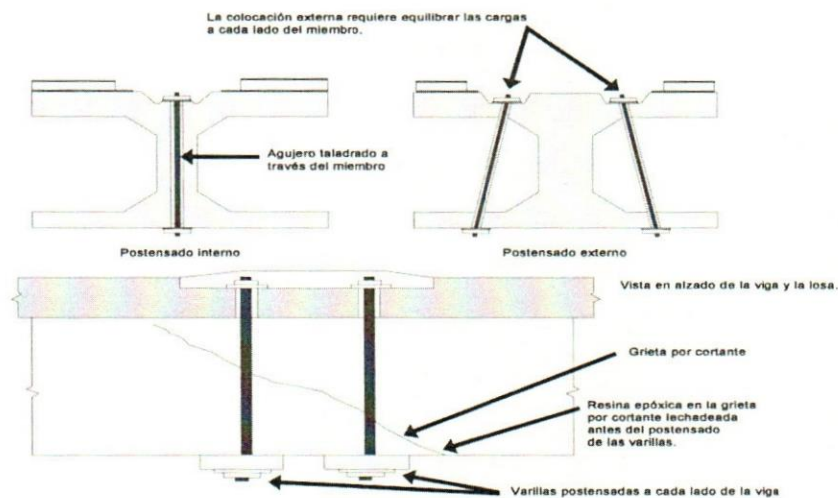


Figura 37: Método de Postensado interno y externo (H.Emmons, 2005)

4.11 DISIPADORES DE ENERGÍA

En años recientes, se han desarrollado nuevos métodos de diseño y rehabilitación sísmica de estructuras de concreto, que consisten en la colocación de disipadores de energía que cambian las características dinámicas usando sistemas de disminución de la demanda como amortiguadores, disipadores, aislamientos en la base, etc.

En general un movimiento sísmico induce una energía en la estructura que se transforma en energía elástica de movimiento, energía elástica de deformación y energía disipada, la energía disipada en la estructura se puede presentar en forma de amortiguamiento viscoso o en forma de amortiguamiento histerético.

La rehabilitación de edificios, usando disipación pasiva de energía busca incrementar el amortiguamiento de la estructura para reducir su nivel de daño y concentra el daño en puntos de fácil intervención, estos dispositivos son de fácil fabricación, bajo costo y excelente comportamiento.

El disipador de energía histerético de acero, es formado por placas de acero A36 a la que se forman una serie de aberturas en forma de panal con el fin de concentrar las deformaciones plásticas en la zona delgada (garganta) y absorber eficientemente la energía sísmica por deformaciones plásticas cíclicas, la rehabilitación con este tipo de disipadores dependen de múltiples variables, por ejemplo el aumento en rigidez que se aplica a la estructura exige la existencia de columnas y cimentación capaces de soportar los sobreesfuerzos en carga axial.

Cuando los edificios son muy rígidos, la cantidad de disipadores es muy grande; el problema de mantenimiento de los disipadores de energía se encuentra aún sin resolver, su uso representa ventajas como el impacto menor sobre la operatividad del edificio durante la rehabilitación (Figura 38).



Figura 38: Uso de disipadores de energía en un edificio

4.12 BARRAS EN CRUZ

Las Barras en cruz, son una técnica para reparar grietas y juntas longitudinales que se encuentran en una condición relativamente buena, las barras de amarre que se emplean en una reparación en cruz, evitan que la grieta se ensanche o se mueva horizontal y verticalmente, la reparación en cruz emplea barras deformadas que se insertan en agujeros perforados a través de una grieta a un ángulo de 35 a 45°, se espacian de 0.60 a 0.90 m alternadas en cada lado (Figura 39).



Figura 39: Método de cocido con barras en cruz

4.13 AGREGADO PRECOLADO

Consiste en colocar el agregado en la cavidad durante el colocado de la cimbra (de granulometría escalonada) posteriormente se coloca un flujo de la lechada que llena la cavidad, una ventaja de este método es la baja contracción por secado del material de reparación, debido al contacto punto a punto de los agregados, las lechadas son a base de cemento Portland y para aplicaciones especiales se usan las resinas époxicas.

4.14 CAPAS SUPERPUESTAS

Protegen al concreto subyacente contra ambientes agresivos, son de distintos materiales, los más comunes son: concreto de cemento Portland con una baja relación agua/cemento, concreto de cemento Portland modificado con látex o con microsílíce, otros tipos de capas superpuestas contienen polímeros, el polímero más común es el epóxico que se combina con arena graduada para formar un mortero, los polímeros ofrecen protección contra ambientes agresivos, son efectivos cuando se usan para incrementar la flexión y la rigidez de losas y vigas de concreto (H.Emmons, 2005).

4.15 APLICACIÓN MANUAL

Se usa para aplicar materiales de reparación sin pandeo, la presión aplicada obliga al material de reparación a entrar en la estructura de poros del concreto expuesto, si se encuentra acero de refuerzo es difícil consolidar y proporcionar la encapsulación completa del acero de refuerzo, los problemas de esta técnica son una pobre adherencia entre las capas y huecos alrededor del acero de refuerzo.

4.16 LECHADEADO EXTERNO

Es un método de colocación de un material bombeable fuera de la estructura (interfase cimiento-suelo), pueden usarse para proporcionar transferencia de carga necesaria entre la estructura y el suelo o para desplazar asentamientos no deseados, la mayoría de los materiales usados en esta técnica son a base de cemento.

4.17 REDUCCIÓN DE ESFUERZOS

Es una técnica que reduce el esfuerzo en un miembro o estructura, este método incluye el corte de nuevas juntas de expansión, gateado de estructuras desplazadas e instalación de apoyos de aislamiento y, a veces la remoción de partes de la estructura.

El esfuerzo excesivo en elementos y estructuras puede ser reparado reduciendo la carga aplicada o modificando el comportamiento de la estructura, entre las técnicas se encuentra el colocar una nueva junta de expansión (Figura 40).

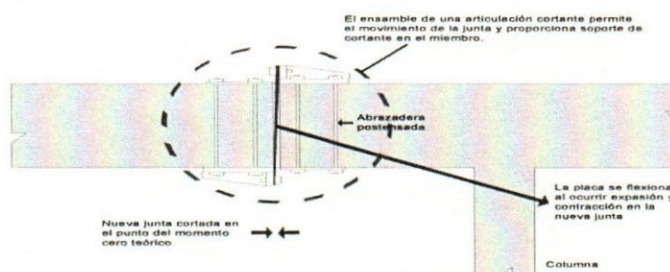


Figura 40: Instalación de juntas de expansión en un marco continuo de concreto
(H.Emmons, 2005)

4.18 CONTRAVENTEO

Es un sistema eficiente que puede configurarse para que su rigidez lateral sea comparable con la de la estructura existente, puede distribuir en varios puntos el momento de volteo que baja a la cimentación, la adición de contravientos añade poca masa a la estructura, la flexión y el corte en vigas se reduce sustancialmente,

esta reducción aumenta las fuerzas axiales en columnas y vigas por lo que para edificios de muchos niveles hay que encamisar las columnas.

Para contraventear una estructura se requiere de perfiles de acero, tubos de acero, secciones en cajón y en ocasiones cables postensados (Figura 41).

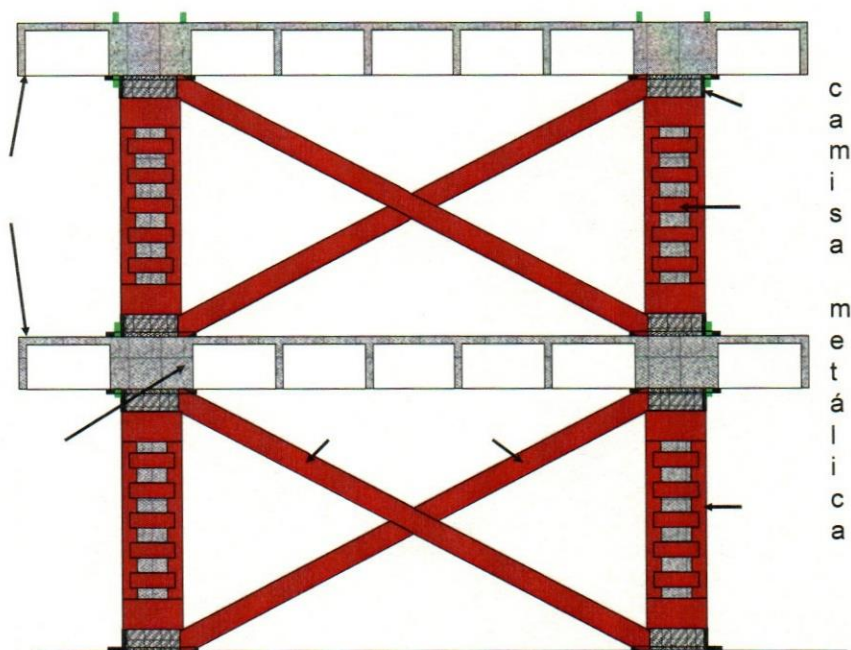


Figura 41. Conexión por medio de encamisado metálico de columnas Existentes (Gilmore)

Las técnicas de reparación generalmente participan en el esfuerzo hasta que se aplican cargas adicionales (vivas o muertas) y/o, hasta que ocurre deformación adicional, denominándose pasivas.

Existen situaciones en las que no es aceptable la deformación adicional y las reparaciones deben participar inmediatamente compartiendo el esfuerzo, estas reparaciones se llaman activas.

Es importante entender el comportamiento de los materiales de reparación, no solo en el estado final sino, durante los procesos de colocación o colado.

El acortamiento o reducción de los claros (losas y vigas) agregan capacidad adicional a flexión o rigidez y puede incluir el aumento de capiteles de las columnas, arriostramiento diagonal de concreto o acero o colocación de un marco adicional dentro del claro (Figura 42)

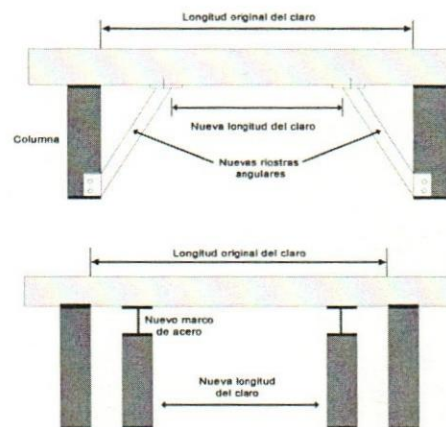


Figura 42: Técnica de acortamiento o reducción de claros (H.Emmons, 2005)

Las juntas de las conexiones viga–columna deben estar libres para girar, expandirse y contraerse, si estos movimientos no son permitidos o si los elementos estructurales de apoyo están excesivamente esforzados, puede efectuarse una reconstrucción de la ménsula.

El deterioro en las zonas de compresión de los miembros a flexión, da como resultado la redistribución del esfuerzo en la sección sana del concreto restante, lo que puede dar como resultado un sobreesfuerzo y deflexión excesivas, la

remoción de la carga durante las operaciones de reparación permite que la reparación soporte la proporción esperada de la carga.

El refuerzo de vigas a flexión puede ser necesario cuando haya una carencia de acero de tensión, que ha causado fisuraciones en el centro de la viga o para casos en los que se haya perdido la resistencia a compresión de la viga, ya sea por escasez de acero o por baja calidad del concreto empleado.

El refuerzo, se realiza abriendo surcos longitudinales en la cara inferior de la viga e introduciendo en ellos el acero que falta, los huecos se rellenan posteriormente con morteros especiales.

Para momentos negativos, es conveniente hacer un adecuado anclaje en sus extremos introduciendo el acero y los estribos necesarios para completar la función resistente del elemento estructural, para ello se abren surcos verticales en todo el contorno de la viga, hasta una profundidad que alcance el acero original, se introducen los nuevos estribos, que se atarán al acero principal de ser posible mediante soldadura, tras este proceso se cierran los huecos empleando morteros especiales.

En elementos no estructurales, no unidos a la estructura solo se necesita reparar las juntas, si se decide unir estos elementos a la estructura deberán considerarse en el análisis de distribución de cargas (Jesús Iglesias J., Francisco Robles, 1986).

Los muros divisorios de mampostería son elementos rígidos y, cuando están unidos a la estructura absorben parte de las fuerzas sísmicas con la desventaja de ser muy frágiles, por lo tanto no conviene unirlos a menos que la estructura sea muy rígida.

Se debe tener cuidado en no ligar a la estructura columnas cortas y, además evitar que la ubicación de los muros que se ligen a la estructura originen excentricidades importantes (muros de colindancia en esquinas).

Si el daño se presenta en la unión de muros desligados, éstos deben separarse 2 cm respecto a las columnas y la losa superior, cuidando estabilizar el muro contra volteo, las holguras en los extremos de los muros deben llenarse con un material flexible como espuma de poliestireno o celotex.

Muros divisorios de productos comerciales (armazón de madera o metálico con recubrimiento de madera o yeso) conviene separarlos.

Los recubrimientos pétreos dañados, deberán remplazarse proporcionando un anclaje metálico con la estructura, en el caso de recubrimientos prefabricados, además de detallar los anclajes deberá proveerse las holguras necesarias entre ellas, para evitar que los afecten los movimientos laterales de la construcción, estos anclajes pueden introducir modificaciones a la rigidez de la estructura.

En la reparación de ventanas debe procurarse una holgura entre los marcos de las ventanas y la estructura o entre ellos y los vidrios.

La reparación de superficies, involucra el proceso de acondicionar el concreto existente para recibir a los materiales de reparación, se requiere remover el concreto dañado, deteriorado o contaminado para proporcionar una superficie que permita la adherencia de los materiales de reparación, actualmente se dispone de muchas técnicas para llevar a cabo la remoción y limpieza del concreto como las que se muestran en las tablas 10 y 11:

Métodos de Preparación de la superficie

Método	Aplicación	Equipo	Ventajas	Desventajas
Escarificación Manual	Áreas pequeñas superficies de difícil acceso	Puntero Cinzel Mazo	Poco ruido, poco polvo no requiere instalaciones especiales de agua o energía	Baja productividad Limpieza posterior con aire comprimido Requiere cuidados para no

			No requiere mano de obra especializada	dañar a la estructura
Escarificación mecánica	Grandes superficies	Disco de desbaste pulidora industrial con disco	Alta productividad	Mano de obra especializada
Escarificación mecánica	Grandes superficies	Rebaje electromecánico o maquina de desbaste para pisos	Alto rendimiento No requiere mano de obra especializada	
Demolición	Grandes superficies	Martillo neumático	Uso de varios martillos acoplados al mismo compresor Alto rendimiento	No adecuada para elementos estructurales esbeltos Requiere cuidado en la ejecución Mano de obra especializada
Lijado manual	Pequeñas superficies	Lija de agua para concreto	No necesita de equipos pesados	Baja productividad y exige una inspección cuidadosa
Lijado eléctrico	Superficie de concreto o placas de acero	Disco de lija acoplado a una lijadora electromecánica	Remueve impurezas existentes en el concreto Abre y limpia los poros Remueve la capa	Produce gran cantidad de polvo

			de óxido de laminación y la costra de corrosión superficial de las placas metálicas Remueve eflorescencias Regula superficies de concreto Alto rendimiento	
Cepillado manual	Áreas pequeñas y de fácil acceso	Cepillo de cerdas de acero	No requiere mano de obra especializada ni instalaciones especiales Retira el producto de corrosión Fácil acceso y manipulación	Baja productividad
Pistola de agujas	Limpieza de superficies metálicas	Pistola electromecánica	Remueve productos de corrosión (óxido) del acero	Se corre el riesgo de dañar las agujas cuando estas entran en contacto con el concreto
Chorro de arena seca o húmeda	Grandes áreas y lugares angulosos	Compresor de aire Equipo de chorro de arena	Elimina todas las partículas sueltas y remueve todo material que afecte a la adherencia	Alto grado de suciedad y polvo No remueve fracciones con espesor mayor de 3 mm En ocasiones necesita una

		arena seca, lavada y sin materia orgánica Abrasivo (arena) Manguera de alta presión Bomba	Limpia el acero removiendo los productos de corrosión	escarificación previa Se necesita limpiar la superficie con aire comprimido
Disco de corte		Máquina de corte dotada de disco diamantado	Retira rebabas, delimita el área a ser reparada, abertura de surcos - ranuras para tratamiento de fisuras	Mano de obra especializada Dificultades en el acceso del equipo a algunas regiones de la construcción Requiere cuidados con relación al control del espesor para no dañar el acero de refuerzo
Quema controlada	Áreas donde no hay acero de refuerzo, cuando el espesor de recubrimiento es superior a 30 mm	Soplete	Disgrega el concreto en capas de espesor de 5 mm eliminando impurezas orgánicas como grasas, aceites y pinturas	Mano de obra especializada Necesita inspección adecuada durante la ejecución
Máquina de desbaste	Grandes áreas horizontales	Escarificador y fresas	Retira elevados espesores de modo uniforme y	Limitada a superficies planas y horizontales

superficial	s, donde hay un buen recubrimiento del acero de refuerzo y donde es necesario la remoción de 0.5 a 3 mm.	mecánicas	eficiente Alta productividad	
hidro demolición			Utiliza agua a altas presiones es proyectada sobre la superficie de concreto y remueve eficazmente el concreto.	

Tabla 10: Métodos de remoción de la superficie de concreto dañada (Helene, 1997)

Procedimiento	Aplicación	Equipo	Ventajas	Desventajas
Chorro de agua fría	Grandes áreas	Manguera de alta presión Equipo tipo lava a chorro Salida direccional	Limpia la superficie al mismo tiempo que la humedece	No es aplicable cuando se requiere un sustrato seco para buena adherencia
Chorro de agua caliente	Grandes áreas o locales	Manguera de alta presión Equipo tipo lava a	Limpia puzas orgánicas como grasas, aceites, pinturas, etc. cuando se	No es aplicable cuando se requiere un sustrato seco

	levemente contaminados con grasas	chorro Salida direccional	mezcla con removedores biodegradable	para buena adherencia Requiere protección con guantes térmicos Operador calificado
Vapor	Grandes áreas contaminados con impurezas orgánicas o minerales (sales)	Manguera de alta presión dotada con aislamiento térmico para evitar pérdida de calor, salida direccional y caldera para generar vapor	Limpia impurezas minerales y orgánicas como grasa, aceite, pintura, etc. debe ser asociado con removedores biodegradables para mejores resultados	Operador especializado
Lavado con solución ácida	Limpieza de áreas grandes donde no haya acero de refuerzo o esté muy próximo, remoción de pinturas y óxidos de metales	Pulverizador Brocha Pincel o escoba	Remueve materiales indeseables como carbonatos, eflorescencias, residuos de cemento, impurezas	Se emplea para tratamientos de limpieza superficial, teniendo en cuenta la posibilidad de infiltración irreversible de agentes ácidos a la estructura
Lavado con soluciones alcalinas	Grandes áreas que presentan residuos ácidos impregnados	Pulverizador Brocha Pincel o escoba	Neutraliza la estructura que estuvo sometida a una taque de ácidos, mejorando las características adherentes del sustrato	

	, limpieza de hongos y musgos		no es agresivo al acero de refuerzo y no requiere equipo especial	
Remoción de aceites y grasas especiales	Limpieza de superficies horizontales contaminados superficialmente, en espesores menores de 2 mm.	Escoba Pincel Brocha	No requiere equipo especial No ataca al concreto y al acero	No remueve grasas y aceites impregnados profundamente, existiendo la necesidad de escarificación mecánica o quema controlada conforme al grado de contaminación
Chorro de aire comprimido	Eliminación de polvo después de la preparación de la superficie o cuando en la superficie se usará una resina de base epóxica	Manguera de alta presión compresor dotado de filtro de aire y aceite	Elimina el polvo y permite enseguida la aplicación del adhesivo de base epóxica, adecuado para limpieza de fisuras antes de la inyección	Inadecuado para superficies húmedas
Solventes volátiles	Limpieza de superficies de concreto o de acero antes de la aplicación de una base epóxica	Pincel Estopa Algodón	Retira ácido úrico, contaminadores superficiales de grasa, pinturas y aceites, por ser altamente volátil se evapora llevando partículas de agua de la superficie ayudando en el	Es inflamable y muy volátil

			secado superficial.	
Saturación con agua	Tratamiento de superficies de concreto antes de la aplicación de morteros y concretos de base cemento	Manguera perforada Sacos de yute	Deja la superficie en una condición de superficie saturada y seca	
Aspiración al vacío	Limpieza en seco de superficies de concreto	Aspirador de polvo industrial especialmente proyectado y equipado para aspirar polvo de concreto con alta potencia	Retira partículas pequeñas (polvo) sin producir más contaminación ideal para locales cerrados (sin ventilación) adecuadas para recibir adhesivos y puentes de adherencia que exigen sustrato seco	No retira partículas grandes ni húmedas

Tabla 11: Métodos de limpieza de la superficie de concreto dañada (Helene, 1997)

La remoción del óxido del acero, es crítica para el éxito a largo plazo de las reparaciones, la limpieza apropiada de las varillas corroídas requiere la remoción del concreto contaminado alrededor de toda la varilla.

Para limpiar el acero de refuerzo se usa uno de los siguientes métodos: Descamadores de aguja, limpieza con agua a alta presión, limpieza con sopleteado abrasivo, cepillado eléctrico con alambre.

Ciertas reparaciones pueden requerir recubrimientos especiales para agregar protección adicional al acero de refuerzo, entre éstas técnicas están: la encapsulación, la protección catódica/ ánodo de sacrificio, la protección catódica/ corriente impresa y el recubrimiento con lechada alcalina.

Aislar la varilla contra corrientes eléctricas en el concreto perimetral puede lograrse encapsulando la varilla con epóxicos; la protección catódica/ ánodo de sacrificio usa después de que todas las superficies han sido preparadas con zinc aplicado con una brocha (Figuras 43 y 44).



Figura 43: Protección catódica de una superficie de concreto

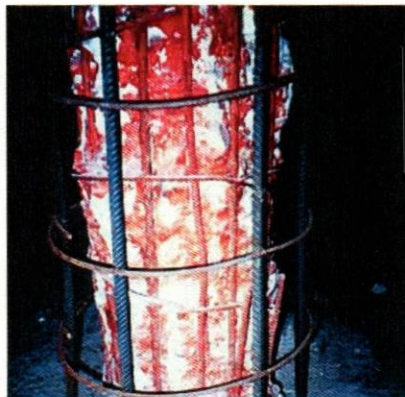


Figura 44: Aplicación de Zinc para protección de las varillas de refuerzo

La protección catódica/corriente impresa contra corrosión, se logra revirtiendo el flujo de corriente eléctrica e instalando ánodos en la superficie de concreto que,

se conectan eléctricamente a las varillas de refuerzo, se envía una corriente eléctrica en el circuito protegiendo a las varilla, la corriente aplicada es balanceada con el ambiente en una base continua, el recubrimiento con lechada alcalina protege al refuerzo contra la corrosión.

El deterioro de las superficies de concreto no es uniforme, las áreas que requieran reparación deben ser modificadas para que proporcionen un área simple de reparación (Figura 45)

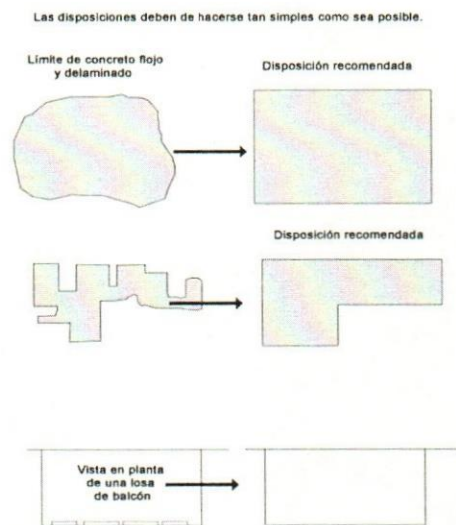


Figura 45: Disposición recomendada de las reparaciones de una superficie
(H.Emmons, 2005)

Lograr la adherencia adecuada entre los materiales de reparación y el concreto existente es un requisito crítico para reparaciones, las superficies de concreto existentes necesitan adquirir aspereza hasta un perfil necesario para lograr trabazón o agarre mecánico, deben tener una estructura de poros abiertos, su nivel de humedad puede ser crítico para lograr la adherencia.

CAPÍTULO 5

CASO DE ESTUDIO

Rehabilitación del Edificio de la Rectoría de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH).

El sismo del 20 de noviembre de 1995 de magnitud de 8.2 en la escala de Richter, con epicentro en la depresión central de Chiapas a 38 km., de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez provocó graves daños en columnas y muros de mampostería del Edificio de la Rectoría de la UNACH.

El edificio de la Rectoría de la UNACH fue construido en a fines de 1978 y está ubicado en la zona sur-poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, sobre una elevación topográfica de suelo firme formado básicamente de calizas con una capacidad admisible mayor de 12 ton/m².

Es un edificio rectangular de un solo nivel y planta rectangular con un área abierta en el centro como se muestra en la figura 46, está estructurado con una losa reticular de espesor total de 35 cm y columnas de concreto reforzado de 50 x 50 cm, los claros entre columnas son de 8.0 m en ambas direcciones, la cimentación está formada por zapatas cuadradas de 140 cm de lado y contratrabes (Jorge Aguilar Carboney, 1995).

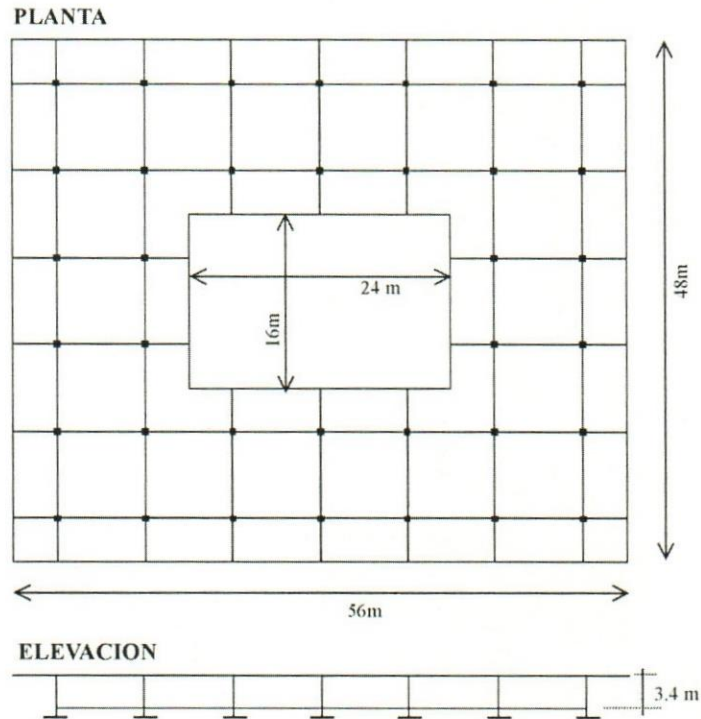


Figura 46: Planta y elevación de la rectoría de la Universidad Autónoma de Chiapas

Los planos estructurales exigían una profundidad de desplantes mínima de las zapatas de 85 cm, siendo el desplante real de las zapatas de una profundidad entre 1 y 1.2 m y en un caso particular, un desplante de 1.6 m.

Daños provocados:

En la inspección, se encontró en la azotea un relleno de 40 cm. sobre la losa reticular lo que implica una gran sobrecarga, se observaron discrepancias en las dimensiones en las plantas de las zapatas conforme a proyecto estructural ocasionadas quizá, por las dificultades de excavación por la resistencia del terreno y deficiencias en el proceso constructivo, 32 columnas de las 36 fueron dañadas, 12 de las cuales fueron clasificadas con daño estructural fuerte, causadas básicamente por cortante, en las restantes el daño fue ligero.

Los muros divisorios de mampostería en área de baños presentaron daños severos y aplastamiento en las columnas, la separación entre los muros no estructurales y las columnas no se respetó, cuando la separación requerida de acuerdo al diseño estructural era de 2 cm. No hubo daños en la losa reticular (Figura 47 y 48).



Figura 47: Daños en columna con pretil superior (Aguilar Carboney, Jorge1995)



Figura 48: Daños en columnas (Aguilar Carboney, Jorge,1995)

El proceso de rehabilitación del edificio incluyó el apuntalamiento provisional de la zona de baños (área más dañada), el edificio fue desocupado.

Se estableció un programa de reparación, a base de inyecciones con resinas epóxicas en las grietas visibles de todas las columnas, realizadas con pistolas de inyección a través de boquillas colocadas en un sellador superficial, se efectuaron pruebas de ultrasonido para verificar la eficiencia de las mismas con un resultado reportado de resistencia mayor a 250 kg/cm^2 especificado en el proyecto original, en las figuras 49, 50 y 51 se presentan diferentes detalles de reparación de elementos estructurales del edificio de la Rectoría de la UNACH.



Figura 49: Inyección de grietas (Aguilar Carboney, Jorge, 1995)



Figura 50: refuerzo de columnas y contratraveses (Aguilar Carboney, Jorge, 1995)



Figura 51: Detalle de refuerzo en unión columna-contratrabe (Aguilar Carboney, Jorge, 1995)

Para definir el proyecto estructural de refuerzo, se modeló la estructura con el método del marco equivalente de acuerdo con las NTC (1996), como espectro de diseño sísmico se utilizó la propuesta de zonificación sísmica para la ciudad de Tuxtla, Gutiérrez (Alonso et al, 1995), la cual recomienda un coeficiente sísmico $c = 0.60$.

De acuerdo con los resultados de este análisis se recomendó reforzar las columnas, zonas de capiteles y la cimentación.

En la reparación, las columnas fueron encamisadas aumentando sus dimensiones a 80 x 80 cm., los capiteles se ampliaron cubriendo una área de casetón de losa reticular y reforzada con dos parrillas horizontales, una en la superficie interior de la losa y otra en la azotea, con estribos adicionales en las nervaduras encamisadas.

En la cimentación se realizó el encamisado integral de las contratraves y dados, se ampliaron las zapatas con armado adicional.

Para evaluar los cambios de rigidez después del refuerzo, se realizaron registros de vibración ambiental en el edificio en varias partes (Figura 52), planteando la hipótesis de que, a través de la determinación experimental de los primeros periodos de vibración antes y después del refuerzo, se podría evaluar el cambio de rigidez, los resultados fueron favorables notándose un cambio considerable de rigidez (366%).



Figura 52: Registro de la vibración ambiental en la azotea del edificio reforzado (Aguilar Carboney, Jorge, 1995)

Para evaluar el cambio en la resistencia global del edificio se aplicó el método de evaluación simplificada para edificios de concreto propuesta en el Manual de la Evaluación de la Capacidad Sísmica de Edificios de la Ciudad de México (1987), que proporciona una referencia aceptable del nivel de resistencia relativo.

El resultado mostró, un incremento en el coeficiente de cortante basal resistente (265%) y una disminución en el período fundamental de vibración descartando un problema de resonancia estructural.

Los resultados también, mostraron satisfacer los requisitos de resistencia solicitados por el RCDF-93, finalmente con los estudios de cambio de rigidez y resistencia de la estructura reforzada se verificó la eficacia del refuerzo.

CAPÍTULO 6

CONTROL DE CALIDAD DE REPARACIONES DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

El constructor debe estar familiarizado con los diferentes métodos de reparación, el aspecto más crítico es la adherencia de los materiales a reparar.

El diseño de una mezcla de concreto, lechada o mortero debe ser proporcionada por el ingeniero y revisada, previo uso.

La revisión y anclaje del acero deben ser inspeccionados antes de colocar el concreto.

Un inspector de epóxicos, debe checar su instalación, se debe solicitar la verificación experimental de la calidad de las conexiones con epóxico al fabricante del mismo.

La aplicación de las fibras compuestas, debe de monitorearse cuidadosamente para verificar que el trabajo se realice de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

El avance tecnológico, hace necesario el trabajo colaborativo de varias disciplinas, la petrografía utiliza la mineralogía óptica que, es una aplicación de la física de la luz al estudio de los minerales, la base de la petrografía es el uso del microscopio en superficies pulidas, rocas y materiales inmersos en resinas de índices de refracción conocidos que, por exposición de la luz permiten analizar las secciones delgadas que proyectan.

La Petrografía determina las condiciones presentes en el material, causas de deterioro del concreto, conformidad con la especificación de proyecto, define el grado de hidratación del cemento, estimación de la relación agua/cemento, grado de carbonatación de la pasta, grado de corrosión del acero de refuerzo, evidencia de reacción álcali-agregado, de sulfato o ataque químico, identificación del

potencial reactivo de los agregados, evidencia de curado incorrecto, estimación del contenido de aire y causas de fisuración.

La combinación de las condiciones de trabajo, el concreto existente, el diseño estructural y material de reparación es única para cada trabajo, pueden surgir muchos problemas, a menos que se lleve a cabo el aseguramiento de la calidad apropiada y el control rutinario de la calidad.

Una vez que el procedimiento y los materiales se consideren satisfactorios, el proyecto de reparación requerirá del control y el aseguramiento de la calidad en el curso de la obra, la medición de la uniformidad, densidad, adherencia y resistencia son los procesos de control más comunes.

III. ANALISIS DE RESULTADOS

De la investigación realizada, el resultado que más impacta en el deterioro de una estructura de concreto es la corrosión del acero de refuerzo, como resultado de la presencia de sulfatos, cloruros, ácidos, presencia de agua fuera y dentro del concreto, vegetación y microorganismos.

Se presentaron diversas alternativas de reparación de estructuras de concreto desde inyecciones de diversos tipos, encamisados de concreto y de acero, uso de laminados FRP, que actualmente son de gran aplicación y que han demostrado excelentes resultados en diferentes estudios realizados hasta la elaboración de estructuras complejas como estructuras externas de edificios y disipadores de energía que ayudan a mitigar el comportamiento de estructuras sujetas a fuerzas sísmicas, cada vez más repetidas y que proporcionan al constructor y al usuario una mayor seguridad ante las incertidumbres de éstos fenómenos de la naturaleza.

De suma importancia fue, el análisis del daño en el edificio de la Rectoría de la Universidad Autónoma de Chiapas por el sismo de 1995, que la afectó severamente y obligo a su reforzamiento inmediato, el cual se llevó a cabo con un encamisado de concreto de columnas y de trabes y columnas de la cimentación, dando hasta la fecha resultados satisfactorios.

IV.- CONCLUSIONES

Una estructura de concreto armado bien diseñada y fabricada de acuerdo a los códigos de una buena práctica, debería tener una durabilidad ilimitada

El concreto simple, ha sido de gran aplicación en el campo de la construcción por considerarse un elemento de gran funcionalidad y durabilidad principalmente en caminos y carreteras, el concreto armado por otro lado, es un material compuesto que optimiza las propiedades del acero y del concreto poniendo a disposición de arquitectos e ingenieros civiles un material de elevada resistencia mecánica y al fuego, de bajo costo y adaptable a varias formas geométricas

Sin embargo los diferentes daños causados a una estructura de concreto por diferentes tipos de acciones mecánicas, físicas, químicas, biológicas y sismos de gran ocurrencia en nuestro País y, el creciente problema económico que actualmente vivimos, nos lleva a decisiones de reparación o reforzamiento de estructuras con el objeto de regresar a una estructura a condiciones óptimas de uso que garanticen la seguridad del usuario.

La evaluación y el diagnóstico de daños de una estructura constituye la parte más importante en la toma de decisiones para la reparación de una estructura, acertar en el diagnóstico representa el éxito de una inversión y por supuesto en la solución de las patologías causantes del problema.

Actualmente existen en el mercado nacional un número cada vez más grande de materiales y métodos de reparación de estructuras, cada uno con determinadas características, que los hacen apropiados a diferentes problemas que se presentan. Es por ello que en este trabajo se presenta un informe de las distintas acciones que pueden afectar a una estructura, causas y consecuencias, con la finalidad de proporcionar métodos de reparación económicos y adaptables a cada situación que proporcionen al usuario una sensación de confort y seguridad.

La rehabilitación de la Rectoría de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), afectada gravemente por el sismo del 2º de octubre del 1995 fue

llevada a cabo con un reforzamiento de columnas y de la cimentación por medio del encamisado de concreto, este refuerzo proporcionó un incremento del cortante basal en un 265%, un aumento de rigidez y una disminución del período fundamental de vibración del edificio, lo que asegura un buen comportamiento del edificio en lo que respecta al problema de resonancia estructural en posibles eventos sísmicos.

V.- REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar Carboney, I. M. (1995). *Rehabilitación de un Edificio de Losa Reticular Dañado por Sismo y Evaluación Experimental de sus características Dinámicas*. Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas: UNACH.

Aguilar, I. S. (1997). *Rehabilitation of Existing Reinforced Concrete Buildings in México City*. Austin texas: University of texas at Austin- Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.

AvGal. (2012). *Acero Galvanizado en el Concreto*. Recuperado el 18 de marzo de 2012

www.avgal.net/pdfs/Acero_galvanizado_como_refuerzo_concreto.pdf.

BASF. (s.f.). *BASF Mexicana Publicaciones*. Recuperado el 18 de marzo de 2012 www.basfcc.com.mx/es/Publicaciones/Pages/default.aspx.

Bracamontes J.R (2002). *Concreto Lanzado*. México,D.F.: IMCYC.

Bracamontes J.R. (2005). *Concreto Lanzado para Obras Subterráneas*. México.D.F.: IMCYC.

Daños en Estructuras de Concreto. (s.f.). Recuperado el 19 de marzo de 2012, www.pyconconsultores.net/images/Salvador%20patologia.pdf.

EMACO. (s.f.). *EMACO S77 CL Mortero de Reparación de Estructuras*.

Recuperado el 19 de marzo de 2012, de www.caribbean.basf-cc.com/en/products/...S.../EmacoS77Cl.pdf.

Evaluación y Reparación de Estructuras de Concreto Dañadas por Fuego. (s.f.).

Recuperado el 15 de Marzo de 2012,

tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11075/Capitulo6.pdf

Fernández, J. C. (octubre de 2002). *Una Inyección Reparadora. Contenido*.

Recuperado el 19 de marzo de 2012 www.imcyc.com/cyt/octubre02/inyeccion.htm.

- FESTER. (s.f.). *XYPEX Concentrado*. Recuperado el 18 de marzo de 2012
www.profest.com.mx/pdf/cementosos/XYPEXCONCENTRADO.pdf.
- Gilmore, I. a. *Refuerzo Estructural de Edificios de Concreto*. México. D.F.
- Guzmán, D. S. (2006). *Durabilidad y Patología del Concreto*. Bogotá ,Colombia:
Instituto del Concreto.
- H.Emmons, P. (2005). *Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento del Concreto*. México: IMCYC.
- Helene, D. I. (1997). *Manual para reparación, Refuerzo y Protección de las Estructuras de Concreto*. México, D.F.: IMCYC.
- Iglesias J.J, Robles Francisco, (1996). *Reparación de Estructuras de Concreto*. México.D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.
- IMCYC. (abril de 2010). *el Concreto Lanzado como Sistema de Reparación*.
Recuperado el 19 de marzo de 2012
www.imcyc.com/revista/2000/abril2000/lanzado.htm.
- IMCYC, E. (2012). Daños en el concreto: Apuntes de cómo evaluarlos.
Construcción Y tecnología en Concreto , 20 - 24.
- IMCYC, I. Y. (2011). La Acción de Fuego sobre las Estructuras de Concreto.
Construcción y Tecnología en Concreto , 24 - 28.
- IMCYC, M. M. (2012). Las Tomografías para el Concreto armado. *Construcción y Tecnología en Concreto* , 38 - 39.
- La Carbonatación, Enemigo Olvidado del Concreto*. (s.f.). Recuperado el 15 de
Marzo de 2012, www.immerc.com.ve/docs/lacarbonatación.html
- MAPEI. (s.f.). *Moteros de Reparación de Concreto*. Recuperado el 19 de marzo de
2012, de www.aymsoluciones.com/.../...
- MAPEI. (21 de Mayo de 2007). *Planitop 15*. Recuperado el 19 de marzo de 2012,
www.mapei.com/public/MX/products/Planitop15_TDS_SP.pdf.

MBrace. (s.f.). *MBrace CF130*. Recuperado el 19 de marzo de 2012, www.basf-cc.cl/.../REPARACION/REFUERZOESTRUCTURALES/...

Métodos de Reforzamiento en Edificios de Concreto armado. Rev.Ing.Civil. (s.f.). Recuperado el 15 de Marzo de 2012,.Rev.Ing.Civil:
atrapadoz.com/descargas/11.pdf

Métodos de Reparación de Estructuras en Edificios Dañados por Sismos. (26 de 01 de 2001). Recuperado el 15 de Marzo de 2012, de
www.uca.edu.sv/investigacion/.../ponenciareparacioes/index.htm

Quimex, P. (s.f.). www.petroquimex.com/030409/articulos/11.pdf. Recuperado el 18 de marzo de marzo de 2012, de soluciones para reparación y rehabilitación de concreto .

Reparación de estructuras dañadas por sismos. Ensayos. (16 de 12 de 2010). Recuperado el 15 de Marzo de 2012,.Ensayo: www.buenastareas.com

1059S-2011spanish galvashield Xp,XPT,XP2,XP4. (s.f.). Recuperado el 19 de marzo de 2012, de www.vector-corrosion.com

Sika. (s.f.). *La reparación y Protección del Hormigón Armado con Sika*. Recuperado el 18 marzo de marzo de 2012
www.concretonline.com/pdf/06aditivos/art_tec/sika03.pdf - España.

Sika. (s.f.). *Manual Sika 2005 para Web p65*. Recuperado el 19 de marzo de 2012, de www.amtarquitectura.com/gallery/d/.../co-ht_Sika_Ferrogard_903.pd...

Tatalean, L. F. (s.f.). *Reforzando Edificaciones con Fibras de Carbono*. Recuperado el 18 de marzo de 2012
www.institutoconstruir.org/.../concreto%20armado/fibras_carbono.p...