



CONCRETO REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Técnicas y Materiales

CONSTRUYENDO CONFIANZA





CONTENIDO

- 1** Introducción

- 2** Definiciones

- 3** Procedimiento general para la intervención estructural

- 4** Conceptos básicos para la intervención estructural

- 5** Técnicas de reforzamiento sísmico

- 6** Bibliografía

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



1. INTRODUCCIÓN

La intervención o rehabilitación estructural ya sea el reforzamiento sísmico o la reparación de edificaciones es un componente esencial para la mitigación de los efectos de los sismos siendo el mejoramiento del desempeño sísmico de edificios vulnerables un asunto de vital importancia y urgente. Además puede ser necesario intervenir una edificación por otras razones como cambio de uso, modificación del sistema estructural, daños por corrosión o ataque químico, incendio, impacto, entre otras. Un aspecto importante y crítico en la intervención es la conexión entre nuevos y antiguos elementos por medio de fijaciones, refuerzo activo o pasivo, adhesivos. El objetivo de este documento es tratar la problemática de intervención estructural de una forma resumida, explicar los conceptos relacionados con el tema e ilustrar sobre las diferentes estrategias y técnicas de intervención o rehabilitación de estructuras existentes y el uso de materiales (productos y sistemas) en dichas técnicas.

Aunque las técnicas mencionadas en este documento se refieren principalmente al reforzamiento sísmico, algunas de estas también pueden ser aplicadas para otros objetivos de reforzamiento como aumento de carga viva, daños del acero de refuerzo por corrosión, calidad deficiente del concreto, modificación de la estructura, entre otras.

INTERVENCIÓN SÍSMICA

Las consecuencias económicas y pérdidas de vidas hacen que los desastres causados por terremotos sean catastróficos en cualquier parte del mundo. La intervención estructural ya sea el reforzamiento sísmico o la reparación de edificaciones es un asunto de vital importancia para la mitigación de los efectos de los sismos.

En caso de edificaciones existentes pueden existir dos fases para la intervención sísmica [1]:

- Reparación y reforzamiento de edificios dañados por sismo
- Reparación y reforzamiento de edificios vulnerables a sismo que aun no han experimentado sismos severos

De esta forma el mejoramiento del desempeño sísmico de edificios vulnerables es un asunto urgente. La intervención sísmica antes de un evento es sin duda la mejor estrategia para mitigar el desastre. Sin embargo si desafortunadamente un sismo causa daño es importante intervenir la edificación dañada para la pronta recuperación y la mínima interrupción de la ocupación y funcionamiento que pueden ocasionar pérdidas económicas importantes como en el caso de instalaciones industriales o plantas de proceso.

En las últimas décadas se han hecho avances importantes en las diversas técnicas para reforzamiento sísmico y éstas se han puesto en práctica. Todas las técnicas de reforzamiento aquí ilustradas deben ser objeto de un diseño estructural. Además previamente hay que hacer una evaluación del estado actual de la estructura con el fin de poder establecer el método de reforzamiento mas adecuado y también las medidas de reparación y protección en caso de ser necesarias.



REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

2. DEFINICIONES

A continuación se presentan las definiciones de las palabras claves relacionadas con el tema [2]:

Indagación (Assessment):

Proceso de recopilación y evaluación de información sobre la forma y condición actual de la estructura y sus componentes, su ambiente de servicio y circunstancias generales.

Evaluación (Evaluation):

Como indagación, pero puede ser aplicado más específicamente con respecto a idoneidad contra un criterio particular tal como una carga aplicada.

Rehabilitación (Rehabilitation):

Llevar a la estructura a su nivel de función original o más alto, incluyendo durabilidad y resistencia.

Remodelación (Remodelling):

Cambio o alteraciones a una estructura para satisfacer función, requerimientos de desempeño, uso u ocupación. Término empleado frecuentemente donde los cambios involucran principalmente apariencia, más que alteración de los componentes estructurales.

Reparación (Repair):

Acción tomada para reinstaurar a un nivel aceptable la funcionalidad actual de una estructura o sus componentes que están ya sea defectuosos, deteriorados, degradados o dañados de alguna manera y sin restricción sobre los materiales o métodos empleados. La acción puede no ser tendiente a llevar la estructura o sus componentes de regreso a su nivel original de funcionalidad o durabilidad. El trabajo puede algunas veces ser tendiente simplemente a reducir la tasa de deterioro o degradación sin aumentar significativamente el nivel actual de funcionalidad.

Intervención (Retrofitting):

Acción para modificar la funcionalidad o forma de una estructura o sus componentes y para mejorar el desempeño futuro. Se refiere particularmente al reforzamiento de estructuras contra cargas sísmicas como un medio para minimizar el daño durante el sismo especificado o para incrementar la capacidad de carga.

Reforzamiento (Strengthening):

Acción para incrementar la resistencia de una estructura o sus componentes, para mejorar la estabilidad estructural de la construcción.

El término intervención es usado comúnmente equivalente a rehabilitación [2].

3. PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL

Un procedimiento o proceso general para la intervención sísmica de edificios vulnerables o dañados por sismo puede ser descrito como sigue [1]:

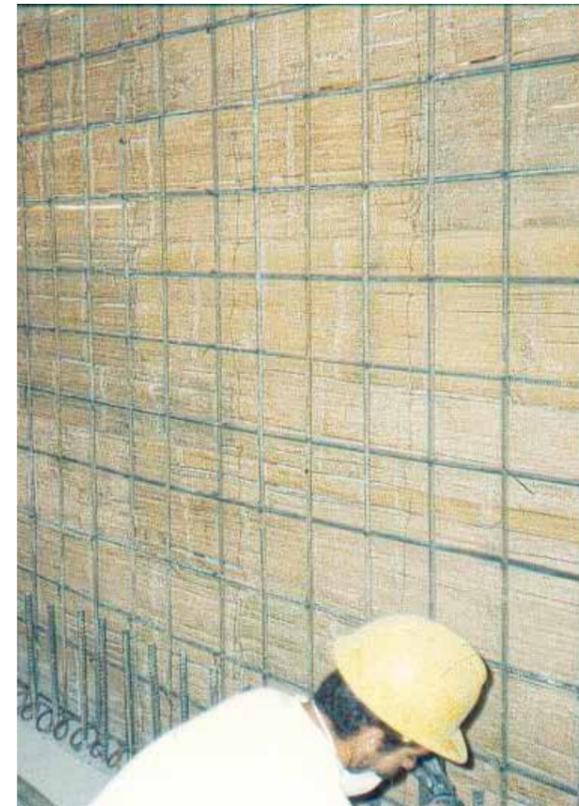
- Evaluación sísmica de la estructura
- Determinación de la capacidad sísmica requerida
- Selección de las técnicas o métodos de intervención
- Diseño de los detalles de conexiones
- Reevaluación de la estructura intervenida

El objetivo de la evaluación sísmica es identificar las deficiencias sísmicas y se puede desarrollar usando la capacidad sísmica o una metodología que considere una combinación de desempeño del edificio y amenaza o riesgo sísmico. La respuesta sísmica de un edificio existente depende principalmente de su rigidez, resistencia, capacidad de deformación (ductilidad) y características histeréticas del edificio, las características del suelo y las características de los movimientos del suelo. Entre estos, la resistencia lateral y la ductilidad son los factores más esenciales que gobiernan la capacidad sísmica del edificio y por lo tanto la evaluación de la capacidad sísmica debe considerar estos dos aspectos.

Es muy importante además evaluar la capacidad sísmica requerida con el fin de evaluar la seguridad sísmica de la estructura de acuerdo con la capacidad original y poder luego definir los criterios u objetivos para la intervención en caso de requerirse. Luego el objetivo de intervención debe ser alcanzado con la implementación de técnicas de intervención basadas en una estrategia de solución de las deficiencias identificadas por la evaluación sísmica previa.

Cuando la edificación requiere ser intervenida deben ser determinadas las técnicas efectivas para la intervención sísmica considerando el nivel de la capacidad sísmica requerida o el nivel de desempeño objetivo para el nivel de riesgo sísmico seleccionado, el tipo estructural, las condiciones del sitio, ocupación y costo. Cada medida de intervención debe ser evaluada en conjunto con otras medidas de intervención y la estructura existente como un todo para asegurar el alcance de la capacidad o desempeño requeridos. Los efectos de la intervención en la rigidez, resistencia y deformación o ductilidad deben ser tenidos en cuenta en un modelo analítico de la estructura intervenida. En el diseño de la intervención se debe considerar cuidadosamente el mejoramiento de la distribución de la resistencia y la rigidez en planta y en la altura así como el incremento en resistencia y ductilidad de los edificios.

Los sistemas de anclaje o fijaciones post-instalados son usados en casi todas las edificaciones intervenidas para conectar nuevos elementos como muros de concreto o marcos metálicos y acero de refuerzo suplementario a las edificaciones existentes. Es de vital importancia el diseño detallado de las conexiones ya que el desempeño de estas puede afectar significativamente el desempeño de la estructura. Los componentes estructurales están sujetos a inversión de cargas durante los sismos por lo tanto es importante diseñar los anclajes para transmitir las acciones dinámicas entre los elementos nuevos



Muro de cortante dentro del edificio

y los existentes y también aún en caso de fisuración del concreto. El tipo de anclaje a usar, mecánico o químico, debe satisfacer los requerimientos de diseño correspondientes. No sirve de nada un diseño de vulnerabilidad sísmica muy meticuloso, sin un diseño adecuado de las conexiones, pues muy seguramente la estructura fallará en esos sitios en caso de sismo.

Finalmente la estructura intervenida es reevaluada para confirmar que la capacidad sísmica satisface la capacidad requerida.

El objetivo de la intervención puede ser el de proporcionarle a la edificación la capacidad sísmica requerida en los códigos actuales y confirmar su capacidad. De esta forma es necesaria una metodología o estrategia para evaluar la capacidad sísmica de edificios existentes. Para tal efecto se han desarrollado guías o métodos para la evaluación sísmica e intervención estructural de edificios existentes de concreto reforzado por instituciones tales como:

- Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA) de Japón.

- Federal Emergency Management Agency (FEMA) de EUA.
- Applied Technology Council (ATC) de EUA.
- Comité Europeo de Normalización (CEN) de Europa.

Los estándares reguladores desarrollados por estas instituciones, como los FEMA [4], el Eurocódigo 8 [5] entre otros, contienen guías para la evaluación e intervención sísmica de estructuras existentes. El estándar FEMA 356 [4], desarrollado como un pre-estándar del ASCE, define el proceso de rehabilitación sísmica (reforzamiento sísmico) en las etapas mostradas en la figura 1.



Figura 1. Proceso de rehabilitación según FEMA 356 [4].

4. CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL

A continuación se presentan conceptos básicos sobre rehabilitación sísmica [1, 3].

Los efectos de la intervención sísmica (rehabilitación sísmica) en la rigidez, resistencia y deformación o ductilidad deben ser tenidos en cuenta en un modelo analítico de la estructura intervenida.

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

- Con respecto al aumento de resistencia y/o ductilidad se pueden presentar en general los siguientes casos o estrategias en la intervención estructural y posibles niveles de desempeño de edificios con pobre capacidad sísmica, ilustrados en la figura 2 [1]:
- aumento de la resistencia última de toda la estructura sin mejoramiento de la capacidad de deformación inelástica o ductilidad.
 - mejoramiento de la capacidad de deformación inelástica sin aumento de la resistencia última.
 - combinación de (a) y (b).



Figura 2. Estrategias de intervención sísmica y posibles niveles de desempeño [1].

Los casos (a) y (b) representan casos límite y en la práctica todas las técnicas de intervención involucran alguna combinación de incremento de resistencia y ductilidad.

Históricamente la metodología de rehabilitación se ha concentrado en el nivel de desempeño de seguridad de vida (prevención de colapso, mantener vías de escape, prevención de caída de elementos) y dichas intervenciones tienden en general a estar entre los casos (c) y (b) lo que implica la aceptación de daño moderado a severo del edificio el cual puede o no puede ser reparable. Si el daño no es aceptable o debe ser muy leve (como en el caso de instalaciones críticas o indispensables que deben permanecer en operación o en funcionamiento luego del sismo, como hospitales, instalaciones de telecomunicaciones, agua y energía) entonces el objetivo de la intervención puede ser limitar el daño tanto en elementos estructurales como no estructurales. Esto se consigue con la limitación de la deriva del edificio. Dado que esto se logra con el incremento de la resistencia y rigidez lateral esta intervención tiende a estar entre los casos (c) y (a).

Un rango amplio de desempeño puede ser objetivo en el diseño de rehabilitación de edificios, variando desde comienzo de daño hasta el colapso con niveles de desempeño intermedio como son

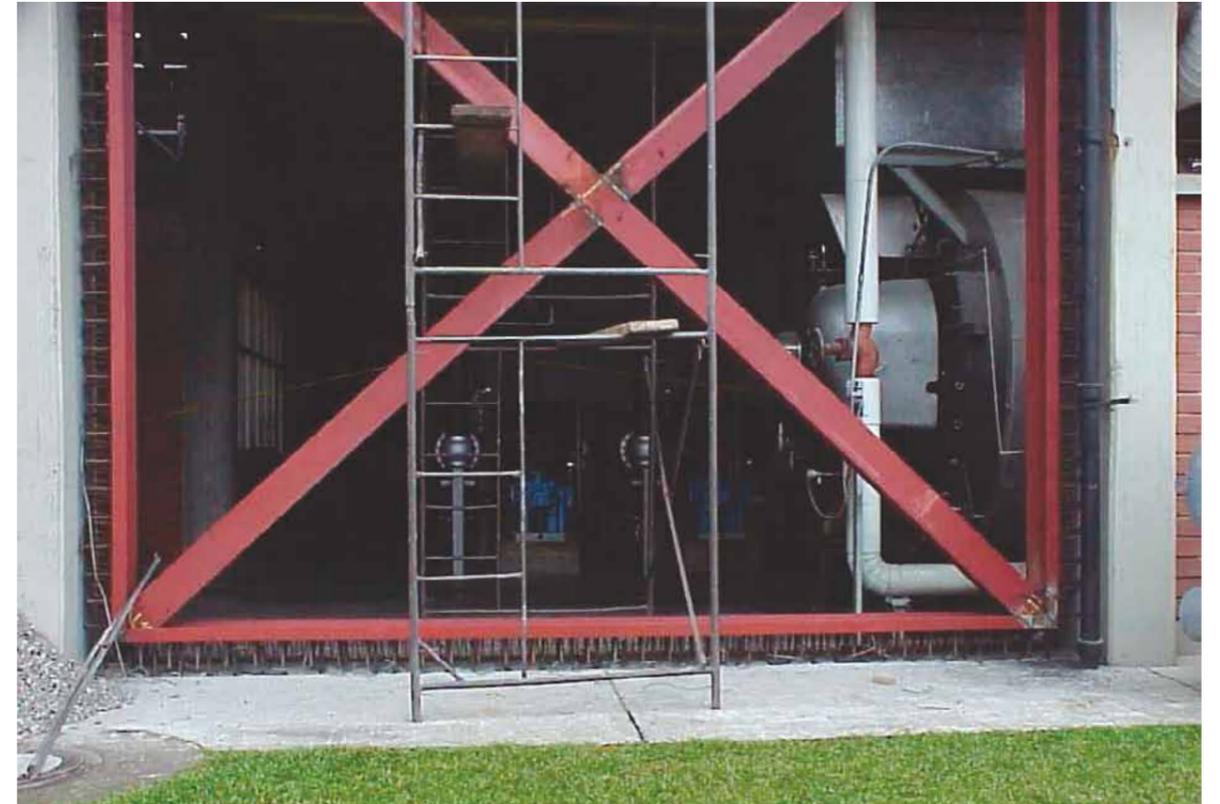
operacional, ocupación inmediata, reparable y seguridad de vida, localizados para diferentes estructuras según la figura 3 [3]. Los procedimientos para la evaluación sísmica contemplados por diversos documentos reglamentarios mundiales (JBDPA, FEMA 310, 365 [4], Eurocódigo 8 [5]) pueden estar basados en fuerzas o basados en desplazamientos [3].



Figura 3. Posibles localizaciones de los niveles de desempeño para diferentes estructuras [3].

La determinación de cual lineamiento es el requerido involucra una consulta muy cuidadosa con el propietario o usuario para definir las expectativas para el desempeño de la edificación en caso de sismo [1]. La experiencia del profesional de diseño en ingeniería sísmica es un prerrequisito importante para el uso apropiado de los estándares para asistir al propietario en la selección de los criterios sísmicos o para diseñar y analizar los proyectos de intervención sísmica. Junto al aspecto técnico también juegan un papel importante el factor de costos y el estético en la selección de las técnicas de intervención [4].

Considerando que los edificios más nuevos que cumplen con los códigos sísmicos posteriores a 1980, han pasado la prueba en vivo durante los sismos recientes, se ha alcanzado un consenso silencioso para el concepto de rehabilitación de edificios existentes: ellos deben ser reforzados a los niveles de seguridad de nuevos edificios. Las implicaciones de este concepto, sin embargo, no eran racionales del todo. Primero, el reforzar los componentes individuales de un sistema existente al estándar de componentes nuevos es técnicamente imposible, especialmente en mejorar el detallado deficiente de miembros de concreto reforzado. Segundo, el costo pagado para alcanzar el nivel de seguridad general de nuevos edificios es inaceptablemente alto, comparable en realidad con el costo de reemplazo. Tercero, una aplicación de campo a gran escala es necesaria para reforzar edificios deficientes al nivel del có-



Arriostamiento metálico con conexión indirecta en edificio industrial

digo actual, lo cual requeriría su evacuación por un periodo de tiempo considerable [3].

La rehabilitación sísmica de grandes edificios requiere aproximaciones de ingeniería que son dramáticamente diferentes de las aproximaciones tradicionales de la ingeniería estructural. Las soluciones de rehabilitación se deben centrar en desarrollar técnicas simples, estándar, costo efectivas que satisfagan los requerimientos para seguridad pública con la menor interrupción de la vida social. La rehabilitación sísmica con base en desempeño es un esfuerzo serio para identificar las fortalezas y debilidades de edificios existentes y reforzarlos a niveles de desempeño consistentes con los objetivos [3].

5. TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO SÍSMICO

Con el fin de lograr el objetivo de rehabilitación o intervención deseado es necesario implementar una estrategia de rehabilitación, la cual a su vez requiere la implementación de técnicas o medidas para corregir las deficiencias y lograr el objetivo propuesto. Las estructuras de concreto reforzado pueden ser intervenidas con alguno de los conceptos o estrategias de intervención descritos para un nivel de desempeño sísmico requerido u objetivo.

A continuación se presentan diferentes técnicas de intervención estructural de estructuras de concreto reforzado [1, 3]. Algunas de las técnicas de intervención incrementan la resistencia y/o la ductilidad de la estructura y otras reducen la demanda sísmica. Las intervenciones locales pueden tener un efecto sobre la respuesta local o global en mayor o menor grado.

Las técnicas disponibles para incrementar principalmente la resistencia última y rigidez son las siguientes:

- Adición/relleno con muros de cortante sobre/dentro de marcos existentes
- Adición/relleno con elementos metálicos (marcos, paneles) sobre/dentro de marcos existentes
- Enchaquetado o encamisado con concreto reforzado
- Adición de muros laterales o alas a columnas existentes
- Adición de contrafuertes a la estructura
- Engrosamiento o ensanchamiento de elementos
- Adición de elementos metálicos o de FRP adheridos y/o anclados externamente (perfil, ángulo, platina, lámina, barras)
- Colocación de cables tensados externos de acero o FRP

Las técnicas disponibles para incrementar principalmente la capacidad de deformación o ductilidad son las siguientes:

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

- Enchaquetado o zunchado con malla de acero y concreto o mortero de protección
- Enchaquetado o envoltura con laminas de acero (relleno, adheridas, ancladas)
- Enchaquetado o envoltura con ángulos y platinas de acero (relleno, adheridas)
- Enchaquetado o envoltura con materiales compuestos FRP

La técnica disponible para mejorar tanto la resistencia lateral y la capacidad de deformación o ductilidad es la siguiente:

- Adición/relleno con un sistema de arriostramiento dúctil de acero.

La técnica disponible para reducir la demanda sísmica es la siguiente:

- Aislamiento sísmico

Existen a nivel mundial diversos estándares, reglamentos, guías, reportes, artículos, que contienen lineamientos de diseño y detalles constructivos de las diferentes técnicas de reforzamiento, tipos y el uso de los materiales en las mismas [6 a 23]. La importancia de la correcta elección y del funcionamiento adecuado de los materiales (concretos, morteros, adhesivos como puentes o agentes de adherencia, recubrimientos de protección del concreto y metal, materiales compuestos FRP) usados en las diversas técnicas de reparación y reforzamiento, en función de los requerimientos de desempeño de las medidas de rehabilitación, ha motivado el estudio y publicación desde hace ya décadas de diversos estándares y guías de selección y especificación de materiales de reparación y construcción [24 a 28] y que contienen los requerimientos mínimos que deben cumplir. Una buena ayuda cuando se está diseñando un proyecto de rehabilitación es documentarse sobre proyectos similares que ya se han realizado o ejemplos y que están publicados en diversos documentos [4 (FEMA 276), 3, 29].

En el caso de concreto o mortero nuevo colocado sobre concreto antiguo se puede mejorar la unión y contacto en la junta entre los dos concretos, además de la adecuada preparación de superficie [19, 20, 21], con la ayuda de un puente o agente de adherencia [6, 20, 22, 23], como por ejemplo un adhesivo epóxico o de otra base química o polímero [26, 27, 28], por sus características el más usado en concreto es el epóxico. El agente adherente ayuda a lograr una buena unión en la junta fría garantizando un comportamiento monolítico del elemento y por consiguiente su rigidez y evitando la entrada de agentes agresores por la misma para las condiciones de servicio del elemento. Existen estándares que especifican cual debe ser la resistencia de adherencia mínima requerida en la unión entre los dos materiales nuevo y viejo tanto para reparación estructural como no estructural y los requerimientos de identificación (huella, características a evaluar en laboratorio), desem-

peño (especificación, valores a cumplir) y seguridad que deben satisfacer los puentes o agentes de adherencia [24, 25 (Partes 3 y 4), 26, 27, 28]. En general una lechada cementosa ofrece una menor adherencia que los adhesivos poliméricos entre concreto fresco y endurecido ya que éstos contraen menos en el curado y toleran un rango más amplio de condiciones de humedad [23, 26]. En las situaciones más críticas la pega adhesiva es usada en conjunto con fijaciones mecánicas, con acero de refuerzo o con tendones que cruzan la línea de pega [26].

En conexiones entre elementos el diseño de las longitudes de desarrollo o anclaje y de traslape del nuevo refuerzo como varillas o barras de acero, pos-instalado y adherido en huecos taladrados en el concreto antiguo y los detalles constructivos (espaciamiento, recubrimiento, refuerzo transversal) debe hacerse de acuerdo con estándares de diseño o con base en reportes de ensayos de laboratorio[18]. De modo simplificado las longitudes de desarrollo o anclaje y traslape para modo de falla por fluencia son las requeridas en los códigos de diseño de estructuras de concreto reforzado para refuerzo pre-instalado. Hay que tener en cuenta que en el caso de fijaciones químicas de barras o pernos pos-instalados con longitudes de anclajes pequeñas, el modo de falla puede ser por adherencia o por fluencia, de tal forma que para el diseño se debe tomar el menor de los dos valores de capacidad de carga. En este tipo de anclajes superficiales también es importante tener en cuenta la interacción tensión y cortante, los efectos de borde y espaciamiento y si el anclaje esta localizado en zona de fisuras o libre de fisuras.

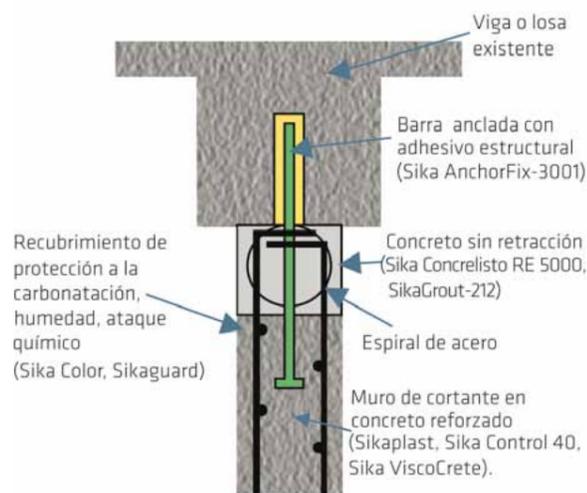


Figura 4. Detalle de la conexión en la parte superior de una pantalla en concreto reforzado



Encofrado de marco metálico para vaciado de concreto de baja retracción en edificio.

Un aspecto que debe estar incluido en el diseño de la intervención es el análisis de las etapas de construcción y el diseño de los sistemas o medidas de soporte temporal, como apuntalamientos, que garanticen la estabilidad de la estructura o elementos durante la ejecución de los trabajos. Esto es de vital importancia en caso de reparación de daños ocurridos luego de un sismo ya que el soporte debe dar estabilidad mientras se define o ejecuta la rehabilitación.

A continuación se presenta una breve descripción de los diferentes métodos o técnicas de reforzamiento de estructuras de concreto y los materiales usados. Es de anotar que en la práctica puede ser requerida la combinación de diferentes técnicas para solucionar un problema de rehabilitación específico y se requiere siempre de un cálculo estructural de la técnica o técnicas escogidas. Los detalles mostrados en las gráficas siguientes son solo indicativos y pueden variar dependiendo del proyecto específico.

ADICIÓN/RELLENO CON MUROS DE CORTANTE SOBRE/DENTRO DE MARCOS EXISTENTES

La solución con adición o el relleno con muros o pantallas de cortante sobre o dentro marcos existentes es un método muy efectivo para rigidizar estructuras y/o corregir problemas de

torsión (figura 4). Las estructuras flexibles que tengan desplazamientos laterales grandes, perjudiciales para los muros de mampostería no estructurales existentes, pueden ser rigidizadas con este método.

Los elementos añadidos o adicionados pueden ser elementos de concreto vaciados en sitio o prefabricados. Los nuevos elementos pueden ser colocados ya sea en el exterior o en el interior del edificio, sin embargo la primera opción es la más fácil ya que no se requiere la remodelación interior del edificio aunque se puede alterar la apariencia y disposición de la fachada. Un aspecto importante y delicado es la conexión entre el nuevo elemento adicionado y el existente.

Los paneles de relleno pueden ser de concreto vaciado en sitio, concreto prefabricado o de mampostería reforzada. Las variantes posibles para los paneles de relleno son:

- Muro de cortante de relleno dentro del marco existente
- Muro de cortante de relleno dentro de abertura en muro existente
- Aumento del espesor de muro de cortante existente

La adición a la estructura o a un elemento existente de nuevos elementos de concreto reforzado como vigas o columnas o ambos conformando un marco puede aumentar la resistencia, rigidez o estabilidad. También se deben tener en cuenta los requerimientos para la elaboración del concreto y conexión entre elementos descritos anteriormente.



Marco metálico con conexión indirecta en edificio industrial

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

ADICIÓN/RELLENO CON ELEMENTOS METÁLICOS (MARCOS, PANELES) SOBRE/DENTRO DE MARCOS EXISTENTES

Los nuevos elementos metálicos adicionados o como relleno a la estructura existente sirven para disminuir el desplazamiento lateral de la estructura durante sismos y corregir problemas de torsión. Los nuevos elementos constituyen en sí una estructura metálica (figuras 5 y 6).

Similar a los muros de cortante los elementos metálicos se pueden colocar con la técnica de adición a la estructura existente colocados normalmente en la parte externa de la estructura o con la técnica de relleno colocados dentro del marco de concreto existente. En el caso de existir muros no estructurales, estos se pueden remover para colocar los elementos metálicos de relleno. La conexión de los nuevos elementos metálicos adicionados externamente a la estructura existente requiere de elementos robustos (perfiles tipo I, H) perfectamente anclados conformando un elemento estructu-

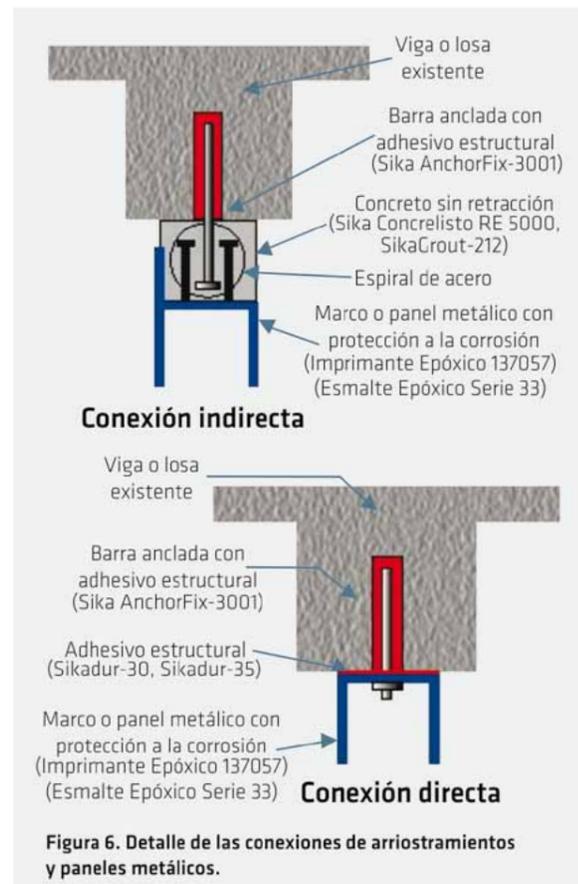
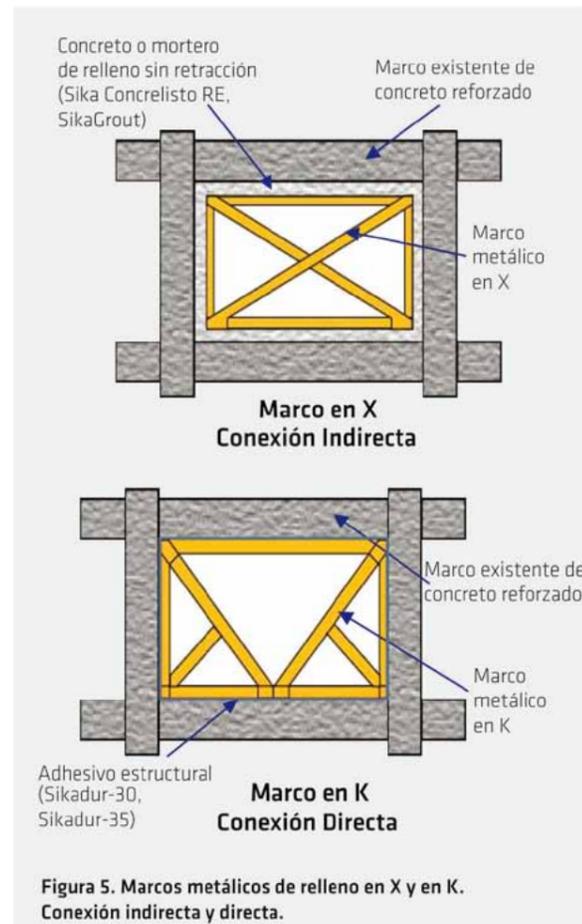
ral compuesto y que garanticen el trabajo en conjunto de toda la estructura reforzada, por ejemplo con la conformación de una estructura metálica como pórticos o riostras con mayor capacidad de carga y rigidez lateral.

Los elementos metálicos de relleno puede consistir en (figura 5):

- Marcos metálicos arriostrados (riostras en X)
- Marcos metálicos arriostrados (riostras en K)
- Panel metálico con abertura
- Panel metálico sin abertura

La instalación de arriostramientos metálicos puede ser una solución efectiva cuando son requeridas grandes aberturas. La técnica de arriostramiento metálico ofrece las siguientes ventajas potenciales sobre otras técnicas debido a:

- Se puede proporcionar mayor resistencia y rigidez
- Aberturas para la luz natural o circulación se pueden hacer fácilmente
- El incremento de masa asociado con el trabajo de intervención es comparativamente pequeño y por lo tanto el costo de la cimentación puede ser optimizado.



Encamisado de columna con concreto listo de baja retracción en edificio industrial

- La mayor parte del trabajo de reforzamiento puede ser llevado a cabo con elementos prefabricados y la perturbación de los ocupantes puede ser minimizada

nuevo se puede colocar vaciado en sitio con formaleta, con concreto lanzado o proyectado o con adición de elementos prefabricados.

La conexión con anclajes del marco arriostrado o panel de relleno dentro del marco de concreto existente se hace en todas las superficies superior, inferior y laterales. Los anclajes pueden ser de tipo mecánico o químico. Existen dos formas de conectar los marcos arriostrados de relleno con la estructura existente: la indirecta y la directa como se muestra en las figuras 5 y 6. En la conexión directa se puede efectuar el diseño sin el uso de anclajes, lo cual tiene la ventaja de hacer trabajos con menos ruido y es más rápida la instalación que la conexión indirecta, pero las tolerancias son más exigentes.

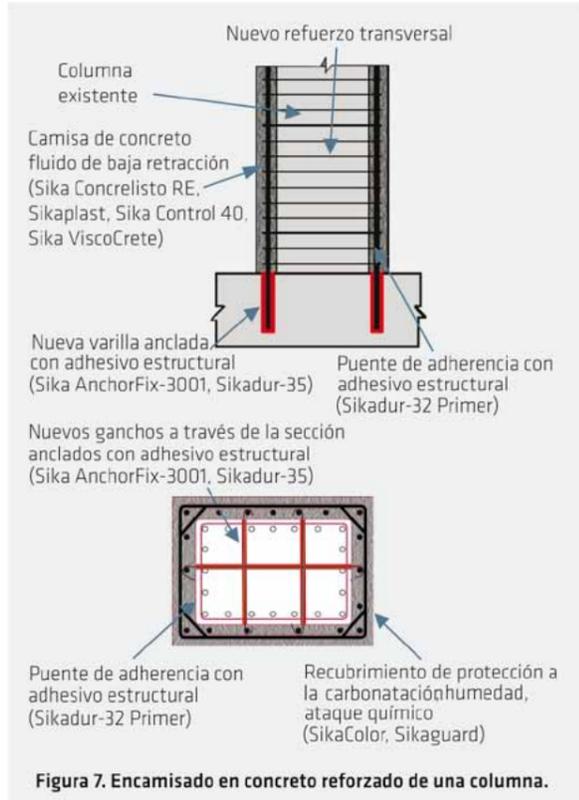
ENCHAQUETADO O ENCAMISADO CON CONCRETO REFORZADO

La técnica del enchaquetado o encamisado de elementos existentes con adición de nuevo concreto reforzado es una estrategia ventajosa para proporcionar más alta resistencia así como para aumentar la rigidez (figuras 7 y 8). El concreto

Cuando se enchaqueta una columna solo entre el espacio del piso sin penetrar el nuevo refuerzo vertical a través de la placa y con nuevo refuerzo horizontal solo se mejora la capacidad axial y/o a cortante de la columna. En este caso el enchaquetado no necesariamente debe quedar en contacto con la losa o viga, dejando un espacio u holgura, ya que la transferencia de carga axial al enchaquetado en las zonas superior e inferior de la columna se hace a través del confinamiento del concreto y en la zona intermedia de la columna por la transmisión tangencial a través de la junta rugosa y adherida entre concreto antiguo y encamisado que hace que en esta zona la carga axial ya la soporte la sección de concreto compuesta más el refuerzo vertical nuevo y antiguo.

Sin embargo si se quiere dar rigidez a la columna debe haber contacto del enchaquetado con la losa o viga. Si el objetivo es solo aumentar ductilidad y no resistencia es suficiente aplicar la técnica de envoltura o zunchado.

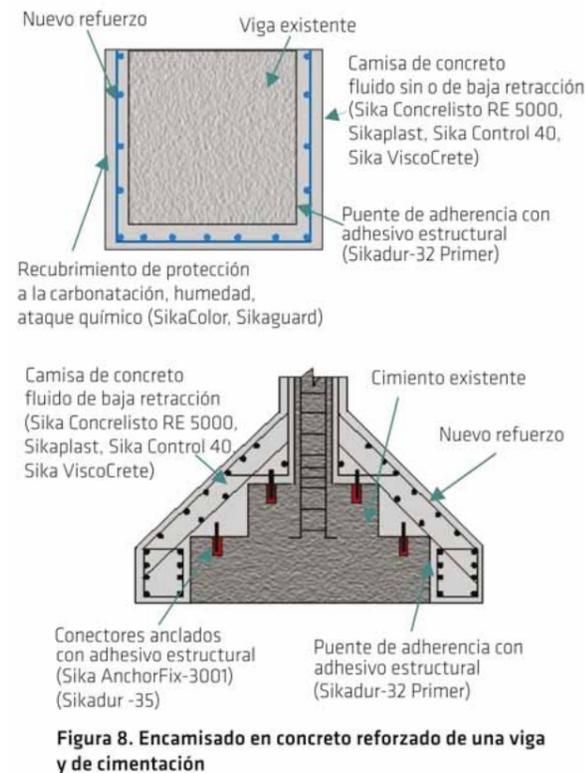
REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Si se requiere mejorar además la capacidad a flexión hay que pasar el nuevo refuerzo vertical a través de huecos perforados o huecos taladrados en la placa y colocar nuevo concreto en la unión viga-columna y el refuerzo debe estar bien anclado a la cimentación (figura 7). En este caso debe haber contacto entre encaquetado y viga o losa, además si la losa es aligerada es conveniente rellenar con concreto y conformar un capitel macizo. En caso de requerirse ganchos intermedios horizontales debido a las dimensiones de la columna lo ideal es que éstos atraviesen completamente la columna existente.

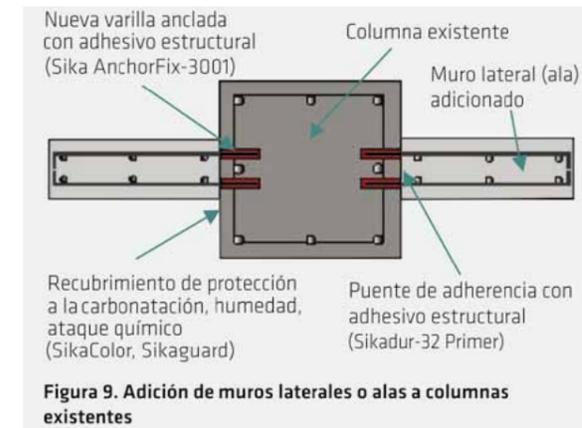
En el caso de vigas el encaquetado completo garantiza un comportamiento de resistencia a cortante y torsión adecuado del elemento en caso de inversión de esfuerzos como ocurre en eventos sísmicos. Si el reforzamiento es solo por cargas por gravedad el encaquetado con refuerzo adicional a cortante se puede hacer solo por las tres caras o en U en caso de requerirse mejoramiento de resistencia a flexión y cortante (figura 8) o solo en la cara inferior para reforzamiento a flexión.

Las cimentaciones y las uniones viga-columna pueden ser intervenidas con esta técnica, pero la construcción es usualmente difícil de realizar y es costosa, especialmente en el caso de la cimentación (figura 8).



ADICIÓN DE MUROS LATERALES O ALAS A COLUMNAS EXISTENTES

La resistencia lateral de columnas existentes se puede incrementar con la adición de muros laterales o alas a las mismas por medio de soluciones constructivas similares a las usadas en las técnicas de encaquetado o de relleno ya descritas (figura 9). En la figura se muestra una alternativa de esta técnica con el uso de anclajes post-instalados de tipo químico. El diseño del anclaje del nuevo refuerzo debe efectuarse de acuerdo con la sollicitación de flexión y cortante del nuevo elemento estructural compuesto.



ADICIÓN DE CONTRAFUERTE A LA ESTRUCTURA

La resistencia lateral de estructuras se puede incrementar con la adición de contrafuertes por medio de soluciones constructivas similares a las usadas en las técnicas de encaquetado o de relleno descritas anteriormente (figura 10). El diseño del anclaje del nuevo refuerzo debe efectuarse de acuerdo con la sollicitación de flexión y cortante del nuevo elemento estructural compuesto, siendo importante garantizar que la conexión entre el contrafuerte y la estructura existente sea capaz de transmitir las fuerzas que se producirán y que se comporten como un solo bloque.

La ventaja de este método es que no se modifica el interior de una estructura, pero requiere un sitio o zona libre alrededor de la edificación y dependiendo de su tamaño se puede requerir una cimentación profunda del contrafuerte.

ENGROSAMIENTO O ENSANCHAMIENTO DE ELEMENTOS

El incremento de resistencia y rigidez de elementos estructurales tales como muros de cortante y losas o placas puede ser logrado con el engrosamiento de estos elementos por medio de soluciones constructivas similares a las usadas en la técnica de encaquetado descrita anteriormente (figuras 11 y 12).

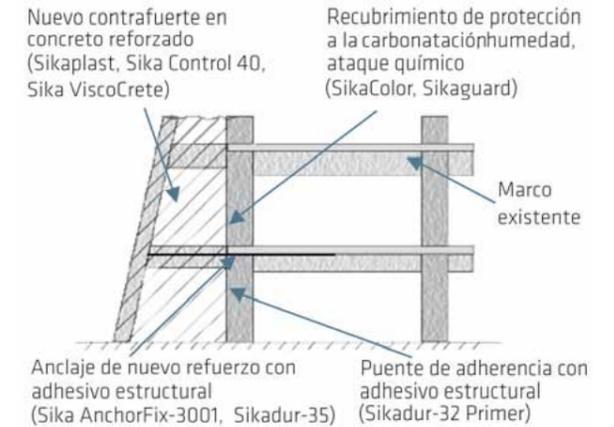


Figura 10. Contrafuerte de concreto reforzado adosado a la estructura existente.

En la figura 11 se muestra en forma esquemática este método con el uso conectores mecánicos con anclajes químicos post-instalados. Dependiendo de la capacidad a cortante requerida en la conexión en el diseño se debe verificar la necesidad o no de los conectores y en caso de requerirse conectores lo ideal



Encamisado y adición de muro lateral en concreto reforzado de columna en edificio comercial

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

por costos es tener el menor número o cantidad y esto se puede lograr combinando la conexión mecánica con un buen perfil de anclaje o buena rugosidad de la superficie de concreto antiguo. En la figura 12 se muestra una posible configuración del reforzamiento de una losa de concreto reforzado con engrosamiento de la zona de compresión y conexión con el uso de material granular duro y adhesivos epóxicos que conforman una capa rugosa y que ofrece una alta resistencia a cortante, configuración usada en reforzamiento de edificios industriales en Alemania.

ADICIÓN DE ELEMENTOS METÁLICOS O DE FRP ADHERIDOS Y/O ANCLADOS EXTERNAMENTE (PERFIL, ÁNGULO, PLATINA, LAMINA, BARRA)

La resistencia de elementos de una estructura se puede aumentar con la adición de elementos metálicos o de materiales compuestos FRP tales como perfiles, ángulos, platinas, láminas, adheridos y/o anclados externamente a la estructura (figuras 13 a 19). Se puede aumentar la resistencia del elemento a flexión, cortante, torsión, carga axial con esta técnica. La diferencia conceptual entre platina y lámina es que la platina es un elemento delgado de gran longitud en una dirección y pequeña longitud en la otra, mientras que la lámina es un elemento delgado de grandes dimensiones en las otras dos direcciones.

La adición de perfiles de acero (figura 13) consiste en unir elementos metálicos robustos (perfiles tipo I, H) a vigas, a columnas, a losas existentes conformando un elemento estructural compuesto con el fin de darle al mismo una mayor resistencia o capacidad de soportar mayores cargas y una mayor rigidez o disminuir las deformaciones, por ejemplo con la conformación

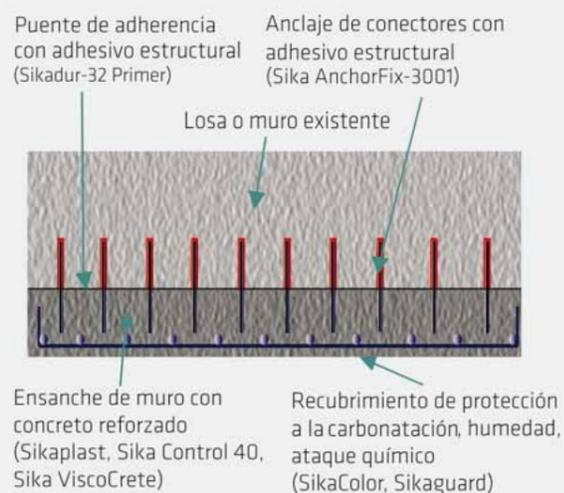


Figura 11. Engrosamiento de losa o muro de corte con concreto reforzado y conectores con anclajes químicos.

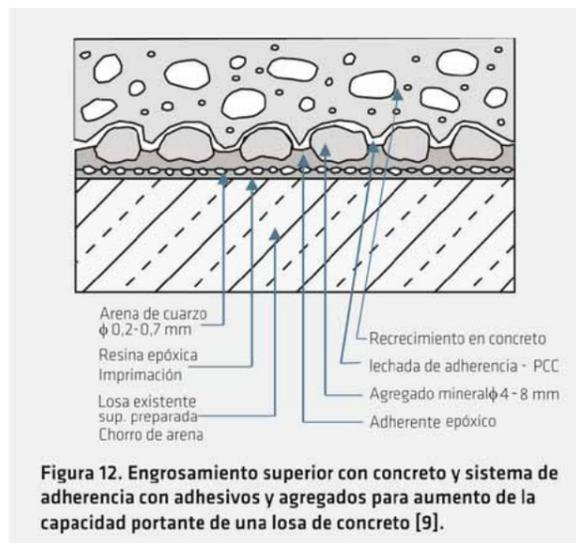


Figura 12. Engrosamiento superior con concreto y sistema de adherencia con adhesivos y agregados para aumento de la capacidad portante de una losa de concreto [9].

de una estructura metálica como parilla para mejorar la capacidad y rigidez de una losa.

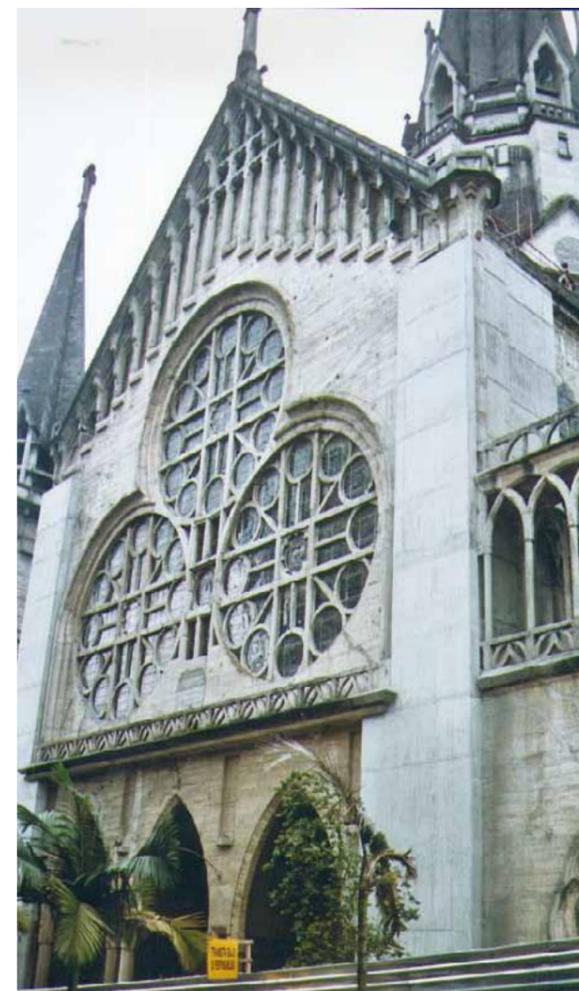
La adición de platinas, láminas, ángulos de acero a elementos estructurales de concreto reforzado o mampostería (vigas, columnas, capiteles, ménsulas, muros) sirve para aumentar su capacidad de soportar mayores cargas (mayor resistencia) y disminuir las deformaciones (mayor rigidez) (figura 14). En ciertos casos se puede requerir de anclaje de los elementos metálicos ya sea por el sistema constructivo empleado y/o como fijación temporal mientras el adhesivo adquiere la resistencia final.

Para el caso específico del uso de esta técnica en columnas referirse a los capítulos de enchaquetado o envoltura de columnas con láminas, ángulos y platinas de acero.

La colocación de acero de refuerzo en ranuras fresadas consiste en la colocación de barras o varillas de acero en ranuras fresadas en el concreto con el fin de aumentar la capacidad de carga o resistencia de elementos como vigas, columnas, losas, muros (figura 15). Las ranuras normalmente se hacen con chorro de agua a alta presión de tal forma que abren la ranura en el concreto sin dañar el refuerzo transversal. Las varillas se adhieren con un adhesivo estructural.

El objetivo de la adición de elementos de materiales compuestos FRP es el mismo al descrito para la técnica de adición de elementos metálicos adheridos y/o anclados externamente y su principio de funcionamiento es similar.

Los materiales compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer) son una combinación de una resina sintética y una fibra sin-



Engrosamiento de muros de concreto en iglesia

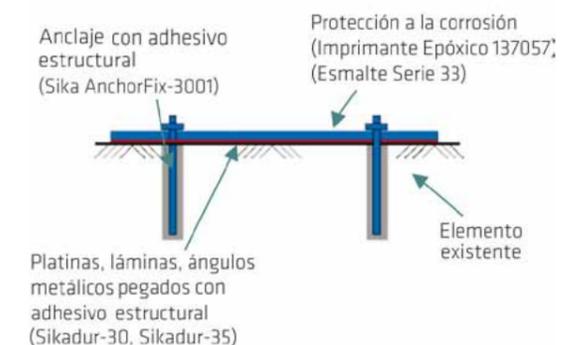
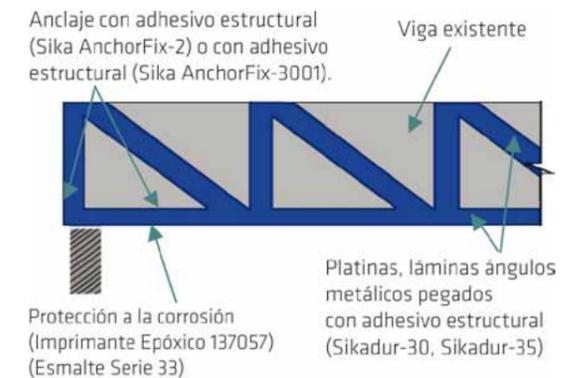


Figura 14. Reforzamiento con platinas, láminas, ángulos de acero

tética. Hay diferentes tipos de resinas, siendo la más usada la resina epóxica, también hay diferentes tipos de fibras siendo las más usadas las fibras de carbono, aramida y vidrio. De acuerdo con el tipo de fibra usado al material compuesto se le denomina CFRP, AFRP, GFRP. Los elementos estructurales FRP que se pueden adicionar son perfiles, platinas, láminas, ángulos, varillas y los mecanismos de transmisión de carga y demás conceptos constructivos en general son similares a los mencionados para elementos metálicos, sin embargo existen particularidades de diseño propios de este material. Dentro de las ventajas con respecto al metal se tiene su bajo peso, fácil manejo, no se corroen, rápida instalación.

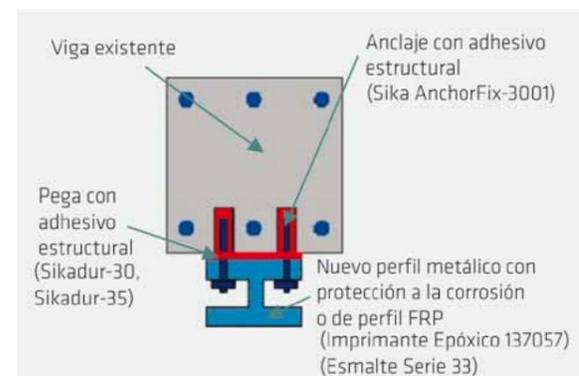


Figura 13. Adición de nuevo perfil de acero o de FRP a una viga existente.



Figura 15. Instalación de varillas de acero o de FRP en ranuras en el reforzamiento de una viga.

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

La resistencia a flexión de vigas y losas se puede mejorar adhiriendo el FRP con las fibras en el sentido de la tensión o paralelo al refuerzo longitudinal y se puede colocar de tal forma que actúe de forma pasiva simplemente adhiriendo el material sobre el concreto o de forma activa tensando o pre-esforzando el FRP anclado en los extremos, en este caso el refuerzo puede estar adherido o no adherido dependiendo del diseño (figura 16). Para FRP pasivo hay que verificar si necesita anclaje o no en los extremos.

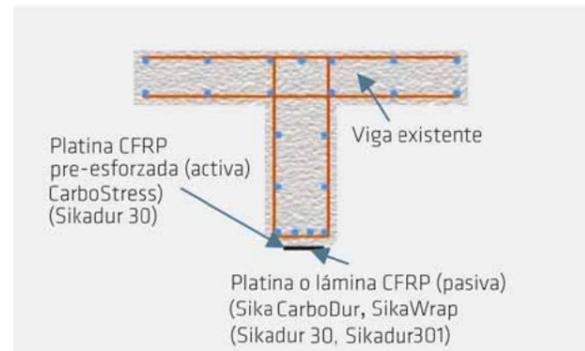


Figura 16. Instalación de laminas o laminas CFRP en el reforzamiento de una viga a flexión.

La capacidad a esfuerzos cortantes en vigas se puede aumentar adhiriendo el FRP, envolviendo completamente el elemento, en forma de U o solo en las caras laterales y siempre con las fibras en el sentido del acero transversal o estribos (figura 17).

Otra alternativa es anclando el refuerzo en la losa, en el alma de la viga o conformando una envoltura completa con ayuda de pasadores en la losa (figura 18), sin embargo estas soluciones aun no están del todo estudiadas y de usarse requieren de un soporte de ensayos que comprueben su eficiencia y que definan los parámetros de diseño.

Colocando el FRP en las caras de un muro de corte de concreto se puede aumentar su resistencia a cortante (figura 19). El aumento de la resistencia última a cortante y el modo de falla puede variar de acuerdo con los métodos de adherir el FRP y de acuerdo al uso o no uso de fijaciones mecánicas en los extremos del material. El doblado en las esquinas es una forma de fijación.

Los métodos de refuerzo del muro pueden ser los siguientes: láminas continuas de FRP longitudinales y transversales en dos direcciones en toda la superficie, laminas FRP en cruces paralelas longitudinales y transversales en dos direcciones en parte de la superficie, laminas FRP en cruces en X en direcciones diagonales en parte de la superficie. En el caso del primer método mencionado se pueden reforzar además las columnas

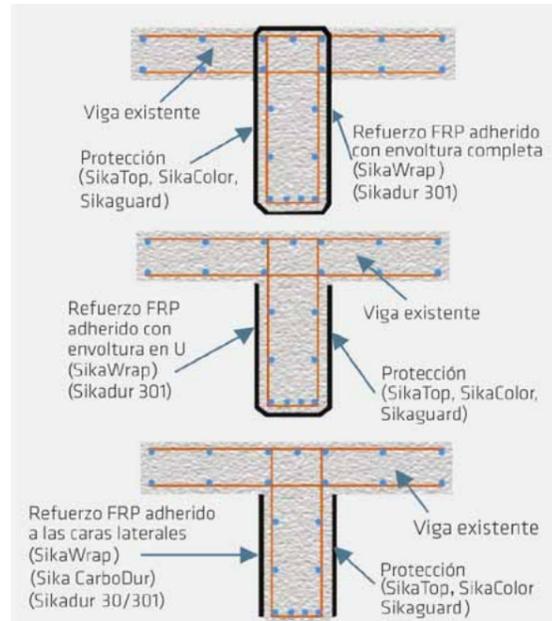


Figura 17. Instalación de laminas o laminas CFRP o GFRP en el reforzamiento de una viga a cortante.

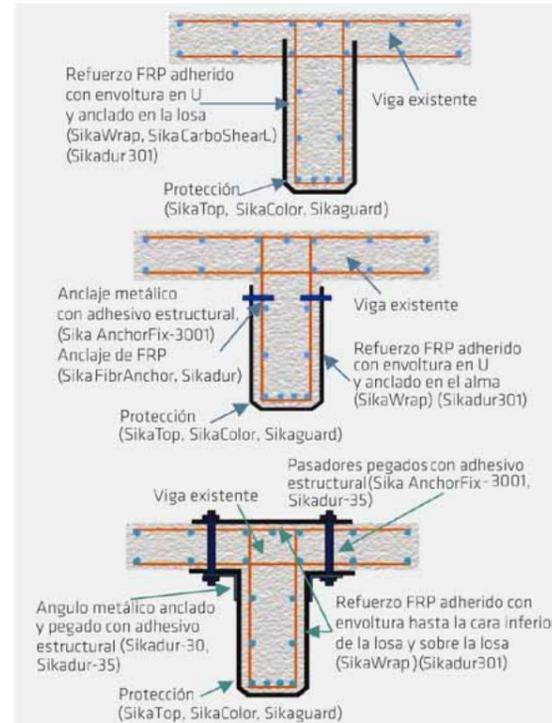


Figura 18. Instalación de laminas o laminas CFRP o GFRP ancladas en el reforzamiento de una viga a cortante.



Adición de perfiles metálicos en losa y pega de laminas CFRP en vigas de edificio comercial



Platina metálica con anclaje auxiliar y pega con adhesivo epóxico inyectado en viga

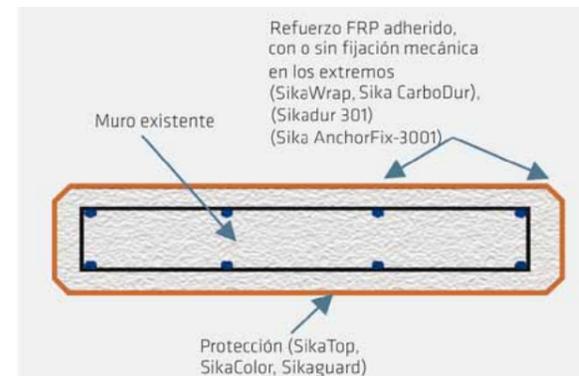


Figura 19. Instalación de laminas o laminas CFRP o GFRP en el reforzamiento de un muro a cortante.

adyacentes con envoltura de FRP y/o reforzar las esquinas de los muros con FRP o con laminas y pernos. Generalmente el refuerzo se coloca en ambas caras, aunque también se puede colocar en una sola cara, con las consideraciones de diseño correspondientes. Para el caso específico de columnas reforzadas con FRP referirse a los capítulos de enchaquetado o envoltura de columnas.

COLOCACIÓN DE CABLES TENSADOS EXTERNOS DE ACERO O FRP

La resistencia de elementos de una estructura se puede aumentar con la adición de cables de acero o de materiales compuestos FRP pre-esforzados y anclados externamente a la estructura y que ejercen una acción activa. Se puede aumentar

la resistencia del elemento a flexión, cortante, torsión, carga axial con esta técnica (figura 20).

ENCHAQUETADO O ZUNCHADO CON MALLA DE ACERO Y CONCRETO O MORTERO DE PROTECCIÓN

Esta técnica de enchaquetado o envoltura de columnas con malla y concreto de protección (figura 21) se usa para incrementar principalmente la capacidad de deformación o ductilidad y el propósito es mejorar fundamentalmente la capacidad a cortante y/o el confinamiento del concreto a compresión para proveer ductilidad (aumento de capacidad de deformación) más que resistencia lateral (capacidad de carga). Sin

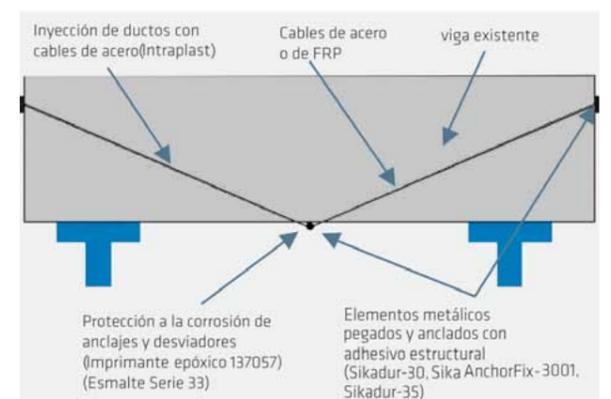


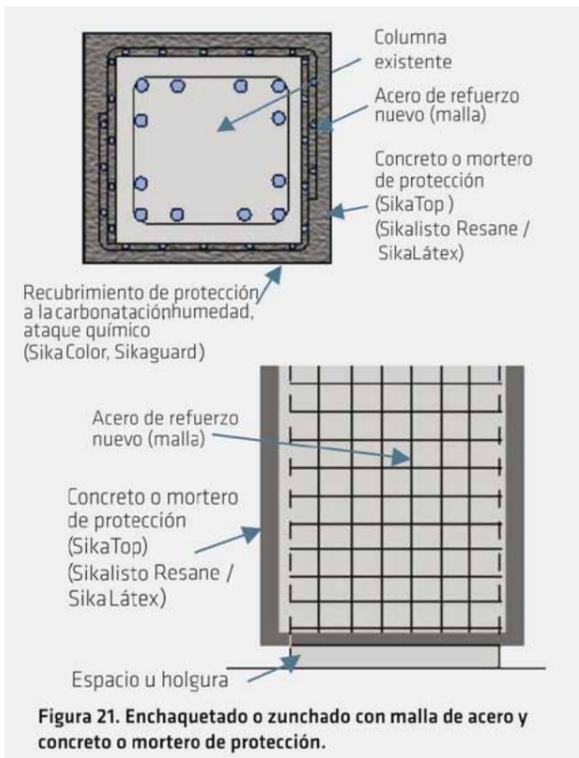
Figura 20. Colocación de cables tensados externos de acero o de FRP en reforzamiento de viga.

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Angulos y platinas metálicas en columnas y vigas de edificio de oficinas

embargo esta técnica se puede usar también para confinar columnas de concreto reforzado que tienen longitudes de traslapo inadecuados de las barras longitudinales y pobre refuerzo transversal y aumentar así su resistencia a flexión y ductilidad y se puede usar además para aumentar la capacidad de carga axial o a carga vertical de la columna por la mayor resistencia a compresión del concreto confinado o zunchado. Para lograr



el efecto de confinamiento deseado es necesario un perfecto contacto entre el refuerzo externo y el concreto antiguo.

El confinamiento se logra por el efecto de zunchado de una malla de acero y el concreto o mortero que se coloca superficialmente sobre la malla solo tiene una función de protección o recubrimiento, es decir no tiene una función estructural. El mortero o concreto se puede colocar manualmente o como concreto o mortero lanzado. Se deja usualmente un espacio u holgura en ambos extremos de la columna no solamente para proporcionar una mas alta resistencia a cortante sino para mantener constante la resistencia a la flexión. Si se quiere aumentar la resistencia a flexión hay que aplicar los criterios de la técnica de enchaquetado o encamisado con concreto reforzado.

En algunos diseños de reforzamiento se usan fijaciones o anclajes (mecánicos o químicos) para transferir la fuerza de corte entre la columna existente y el enchaquetado o envoltura. Se debe tener en cuenta que la rehabilitación de unos pocos elementos con las técnicas de enchaquetado o envoltura descritas anteriormente no pueden ser lo suficientemente efectivas para mejorar el comportamiento global de la estructura si el resto de los elementos no son dúctiles.

ENCHAQUETADO O ENVOLTURA CON LAMINAS DE ACERO (RELLENADAS, ANCLADAS, ADHERIDAS)

El objetivo de esta técnica de reforzamiento es el mismo al descrito para la técnica de enchaquetado o zunchado con malla de acero y su principio de funcionamiento es similar.

La técnica consiste en colocar una chaqueta o camisa con laminas de acero envolviendo la columna (figuras 22, 23, 24). El enchaquetado se puede colocar dejando una holgura o espacio



Láminas metálicas en nudo en viga cajón en concreto con relleno epóxico inyectado



Varillas CFRP colocadas en ranuras en puente de concreto



Platinas CFRP en L en viga y ancladas en losa

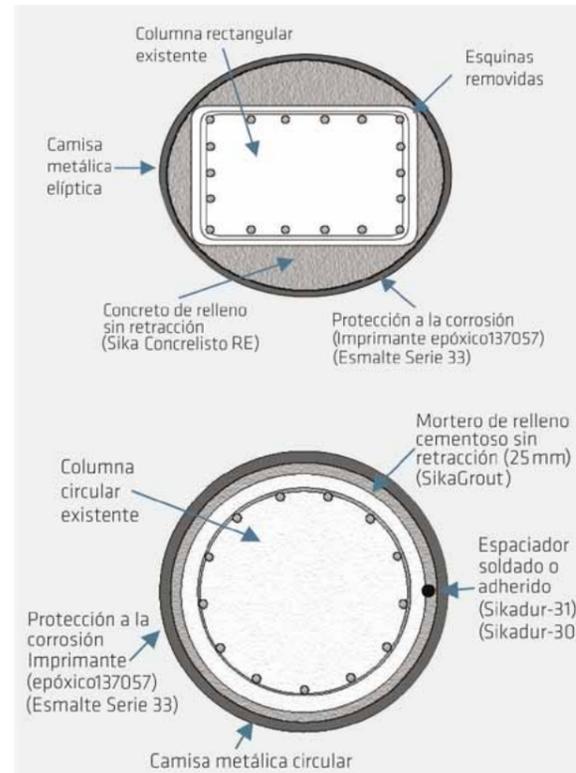


Figura 22. Encamisado en acero de una columna rectangular y de una columna circular y los diferentes materiales de relleno.

entre la columna y la lamina que luego será rellenado con un material cementoso (concreto o mortero) que no presente retracción o el enchaquetado se puede pegar directamente al concreto o rellenar con un adhesivo. Se deja una holgura (3-5 cm) arriba y abajo entre chaqueta y viga o losa para mantener constante la resistencia a la flexión.

En el caso relleno de columnas rectangulares se puede conformar una columna elíptica mediante la colocación de una camisa con esta forma, o si se trata de una columna cuadrada se puede conformar una columna circular. En ambos casos también es posible dejar la camisa con la misma forma de la columna. En el caso de una columna circular se sigue conformando una columna circular. Si el tamaño de la holgura o espacio a rellenar esta entre 25 mm y 50 mm se utiliza un relleno o grout cementoso fluido sin contracción, para rellenos mayores a 50 mm se utiliza un concreto sin ó de baja retracción.

Esta técnica de enchaquetado con laminas de acero se puede usar también para confinar columnas de concreto reforzado que tienen longitudes de traslapo inadecuados de las barras longitudinales y refuerzo transversal pobre o deficiente y aumentar así su resistencia a flexión y ductilidad (figura 23).

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

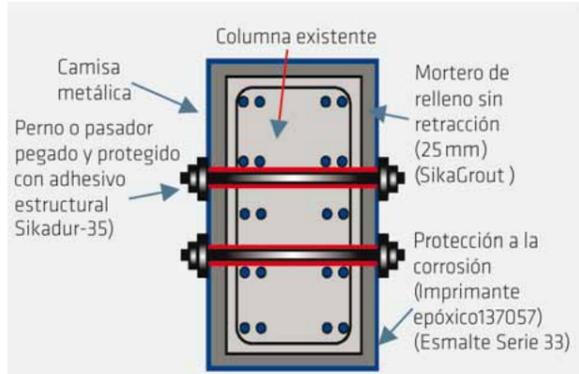


Figura 23. Columna con traslapeo inadecuado reforzada mediante camisa de acero y pernos de anclaje o pasadores adheridos y con concreto o mortero de relleno.

En el caso de la camisa metálica colocada con un espacio de unos pocos milímetros entre camisa y el elemento estructural normalmente se colocan primero las laminas o las secciones de laminas que son soldadas posteriormente y finalmente se inyecta un adhesivo epóxico estructural fluido por medio de puertos de inyección colocados en huecos taladrados en la lámina (figura 24).

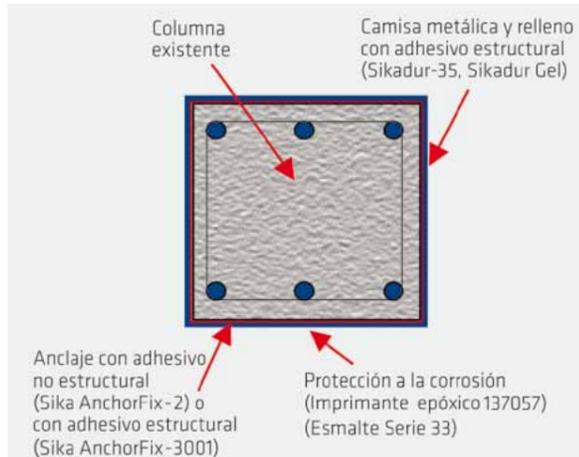
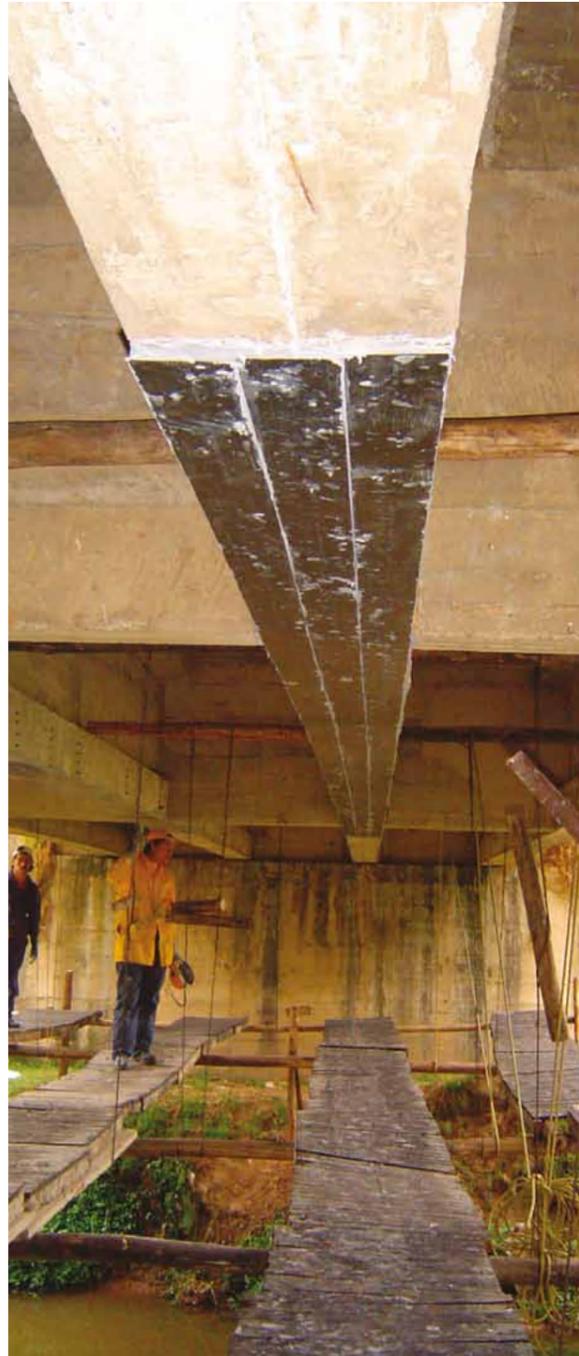


Figura 24. Encamisado de acero en columnas con láminas pegadas.

ENCHAQUETADO O ENVOLTURA CON ÁNGULOS Y PLATINAS/PRESILLAS DE ACERO (RELLENO, ADHERIDAS)

El objetivo de esta técnica de reforzamiento es el mismo al descrito para la técnica de enchaquetado o zunchado con malla de acero y su principio de funcionamiento es similar. La técnica



Platinas CFRP en vigas de concreto en puente

consiste en colocar una chaqueta conformada con ángulos y platinas o presillas de acero envolviendo o zunchando la columna (figura 25).

Con esta técnica se puede mejorar la capacidad a carga axial por el efecto de confinamiento, sin embargo también se puede mejorar con ayuda de los ángulos metálicos. En caso de columnas dañadas en la reparación se puede desprestigiar la colaboración del acero de refuerzo o armadura si este está en mal estado y el concreto se puede reparar para restituir su capacidad. La técnica en este caso se puede aplicar no en toda la longitud de la columna sino a una zona de la misma que cubre la zona dañada y las zonas adyacentes.

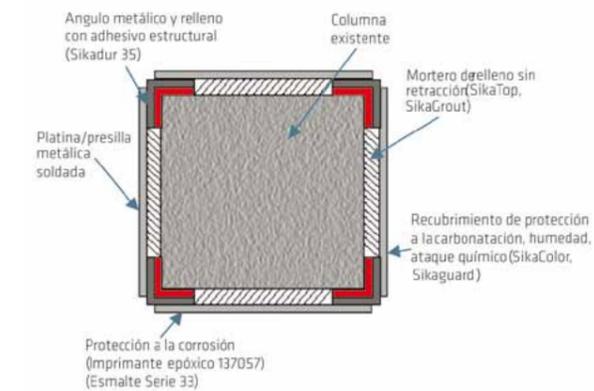


Figura 25. Enchaquetado con ángulos y platinas metálicas.

En caso de requerirse un aumento grande de la carga axial, o en caso de reparaciones en donde se desea estabilizar una columna dañada, se puede transmitir la carga vertical a los ángulos también a través de perfiles soldados a las presillas extremas y que van pegados a la losa o vigas en ambos extremos con un adhesivo estructural con el fin que haya un buen contacto con el concreto. Si se desea aumentar la capacidad a flexión o a momento con esta técnica, entonces los ángulos deben pasar a través de la losa o con ayuda de perfiles metálicos que atraviesan la losa y que están soldados a los ángulos de la columna.

Enchaquetado o envoltura con materiales compuestos FRP

El objetivo de esta técnica de reforzamiento es el mismo al descrito para la técnica de enchaquetado o zunchado con malla de acero y su principio de funcionamiento es similar.

Los elementos estructurales FRP que se pueden adicionar son platinas o láminas de carbono, vidrio o aramida y los mecanis-

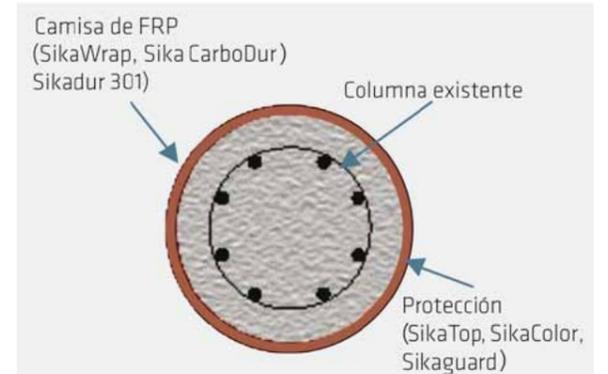


Figura 26. Encamisado o envoltura con laminas o platinas CFRP, GFRP, AFRP en reforzamiento de columnas.



Láminas CFRP en vigas de concreto, envoltura en U mos de transmisión de carga y demás conceptos constructivos en general son similares a los mencionados para elementos metálicos, sin embargo existen particularidades de diseño propios de este material (figura 26). En general la fibra aramida se caracteriza por su alta resistencia al impacto.

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Colocación de la resina epóxica sobre la fibra de carbono

ADICIÓN/RELLENO CON UN SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO DÚCTIL DE ACERO.

Con la técnica de adición o relleno con un sistema de arriostramiento dúctil se puede mejorar tanto la resistencia lateral como la capacidad de deformación o ductilidad. El sistema consiste de un panel de cortante el cual puede disipar una gran cantidad de energía sísmica debido a su deformación inelástica, elementos riostras que se esperan permanezcan en el rango elástico hasta grandes deformaciones laterales y un marco metálico (figura 27). La respuesta sísmica del marco rehabilitado puede ser mejorada en términos de resistencia, rigidez, ductilidad y energía histerética. Con respecto a la conformación constructiva de la conexión con el marco existente referirse a lo expuesto en el capítulo relacionado con la técnica de adición/relleno con elementos metálicos (marcos, paneles) sobre/ dentro de marcos existentes.



Láminas de CFRP en vigas I de puente

Otra sistema de disipación de energía es la colocación de amortiguadores viscosos, que son dispositivos en forma de pistón que son capaces de disipar la energía sísmica debido a la compresibilidad del material viscoso. Los amortiguadores son colocados en marcos metálicos que se adosan a la estructura de concreto.

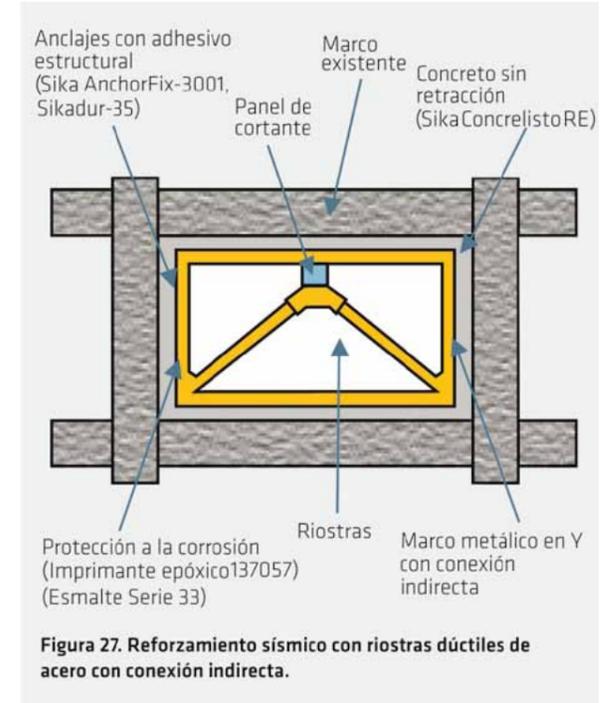
Aislamiento sísmico

Son dispositivos de gran flexibilidad horizontal que se instalan en la base, parte intermedia o superior de las columnas para desacoplar a la estructura de los movimientos del suelo durante un sismo. Con esta técnica se reduce la demanda sísmica y se permite que la estructura trabaje en el rango elástico durante el sismo.

Los aisladores están conformados por capas de caucho vulcanizado y platinas metálicas intercalados rematados en su



Láminas de CFRP horizontales en muro de cortante en edificio



parte superior e inferior por platinas metálicas más gruesas que se anclan a la fundación y a la estructura existente. Se utilizan concretos sin retracción, grouts, adhesivos epóxicos estructurales, anclajes para hacer el acople de los aisladores con la estructura existente. Esta técnica puede ser usada en estructuras de concreto indispensables que deben permanecer en funcionamiento después de un sismo, como hospitales, centrales de telecomunicaciones, centrales de energía, etc. Igualmente en edificios considerados patrimonios arquitectónicos o históricos que además no pueden ser rehabilitados con métodos convencionales porque se vería comprometida su estética.



Encamisado de columna con láminas metálicas con relleno eóxico inyectado.

Los sistemas de marcos metálicos con paneles de cortante o con amortiguadores viscosos mencionados anteriormente también reduce la demanda sísmica.



Envoltura de columnas en toda la altura con láminas CFRP en edificio



Inyección epóxica y láminas CFRP en losa de puente

REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Engrosamiento local con concreto y platinas CFRP en losa pretensada de muelle



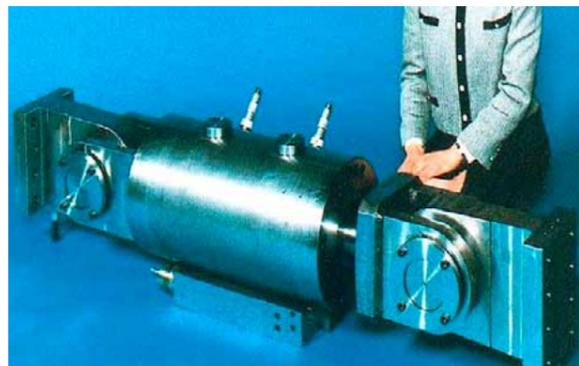
Aisladores en edificio (Colombia)



Prueba de aislador (Bridgestone)



Adición de arriostramiento dúctil con panel de cortante, riostras y marco metálico (Japón)



Amortiguador viscoso (Kajima Corp).

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comité Euro-International du Béton (CEB). Fastenings for seismic retrofitting. State-of-the Art Report, Bulletin 232, 1996.
- [2] Comité Euro-International du Béton (CEB). Strategies for testing and assessment of concrete structures affected by reinforcement corrosion. Guidance Report, Bulletin 243, 1998.
- [3] Federation Internationale du Béton (fib). Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings, State-of-the Art Report, Bulletin 24, 2003.
- [4] Federal Emergency Management Agency (FEMA) 156, 157, 172, 273, 274, 276, 306, 307, 308, 310, 356, 357, Seismic evaluation and rehabilitation of buildings.
- [5] European Committee for Standardization, Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures. Part 1-4: Strengthening and repair of buildings. Brussels: CEN, 1996.
- [6] Fernández Cánovas, Manuel., Patología y terapéutica del hormigón armado, Madrid, Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, 3ª Ed., 1994.
- [7] Raina, V.K. Concrete Bridges: Inspection, Repair, Strengthening, Testing, Load capacity evaluation, MacGraw Hill, 1996.
- [8] Priestley, M., Seible, F., Calvi, G., Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sohns, Inc., 1996.
- [9] Schäfer, H., Verstärken von Betonbauteilen-Sachstandsbericht (Reforzamiento de Elementos de Concreto-Estado del Arte), Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Heft 467, Beuth Verlag, Berlin, 1996.
- [10] Kerkeni, N., Zur Anwendung der FE-Methode bei spritzbetonverstärkten Stützen (Sobre el uso del método de elementos finitos en el reforzamiento de columnas con concreto lanzado), RWTH Aachen, 2000.
- [11] Regalado, Florentino T., Los Pilares: Criterios para su proyecto, cálculo y reparación, Biblioteca Técnica de Cype Ingenieros, Volumen 4, 2001.
- [12] American Concrete Institute, Special Publication SP-165, Repair and strengthening of concrete members with adhesive bonded plates, 1996.
- [13] Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA), Seismic retrofit design and construction guidelines for existing reinforced concrete buildings and steel encased reinforced concrete buildings using continuous fiber reinforced materials, 1999.
- [14] Concrete Society Committee - Technical Report No. 55, Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials, UK, 2000.
- [15] Federation Internationale du Béton (fib), Technical Report Bulletin 14, Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, 2001.
- [16] American Concrete Institute, ACI 440.2R, Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures, 2002.
- [17] Emmons, Peter, Concrete Repair and Maintenance Illustrated, R.S. Means Company, Inc., 1994.
- [18] International Code Council - Evaluation service. ICC-ESR 3608 Sika Anchor-Fix-3001. 2017.

- [19] Randl, N., Wicke, M. Schubübertragung zwischen Alt- und neu Beton (Transmisión de cortante entre concreto viejo y nuevo). En: Beton- und Stahlbetonbau. Ernst & Sohn Verlag, Berlin. H.8, 2000, p. 461-473.
- [20] Bergmeister, Konrad, Kleben im Betonbau (Pega en el concreto). En: Beton- und Stahlbetonbau. Ernst & Sohn Verlag, Berlin. H.10, 2001, p. 625-633.
- [21] International Concrete Repair Institute (ICRI), Guideline No. 03730, Guide for surface preparation for the repair of deteriorated concrete resulting from reinforcing steel corrosion, 1995.
- [22] Cognard, Philippe, Building & Construction Adhesives, Parte I a Parte VI, SpecialChem, 2003 y 2004.
- [23] Petrie Edward M., Polymers for roads and bridges, SpecialChem, 2003.
- [24] International Concrete Repair Institute-ICRI, Guideline No. 03733, Guide for selecting and specifying materials for repair of concrete structures. January 1996. Guideline No. 03742, Guide for the selection of strengthening systems of concrete structures, February 2006.
- [25] European Committee for Standardization. prEN 1504, Products and systems for the protection and repair of concrete structures- Part 1 to Part 10. Brussels: CEN, 2003.
- [26] American Concrete Institute. Committee 503. Guide for the selection of polymer adhesives with concrete. ACI 503.5R (reapproved 1997, 2003). ACI, 2004.
- [27] Florida Department of Transportation (DOT) Specifications. Sections: 926 Epoxy compounds, 937 Adhesive bonding materials systems for structural applications.
- [28] The Institution of Structural Engineers. Guide to the structural use of adhesives, London, 1999.
- [29] American Concrete Institute. Compilations No.10, No.20, Repair and rehabilitation of concrete structures, 1991, 1993.

Publicación: Sika Colombia S.A.S.
Cuarta Edición
División Construcción
Febrero de 2017

Este documento está basado en la bibliografía relacionada y es responsabilidad del lector o usuario del documento y no de **Sika** el uso adecuado de la información aquí consignada. El documento es propiedad de **Sika** y no está autorizada la reproducción parcial o total del mismo.

SIKA UN AMPLIO RANGO DE SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN



IMPERMEABILIZACIÓN



CONCRETO



REFORZAMIENTO



PEGADO Y SELLADO



PISOS



CUBIERTAS

¿QUIÉN SOMOS?

Sika es una compañía activa mundialmente en el negocio de los productos químicos para la construcción. Tiene subsidiarias de fabricación, ventas y soporte técnico en más de 70 países alrededor del mundo. Sika es líder mundial en el mercado y la tecnología en impermeabilización, sellado, pegado, aislamiento, reforzamiento y protección de edificaciones y estructuras civiles. Sika tiene más de 13.000 empleados en el mundo y por esto, está idealmente posicionada para apoyar el éxito de sus clientes.

Sika Colombia S.A.S.

BARRANQUILLA

Cll. 114 No. 10 - 415. Bodega A-2
Complejo Industrial Stock Caribe.
Barranquilla
Tels.: (5) 3822276 / 3822008 /
3822851 / 3822520 / 30
Fax: (5) 3822678
barranquilla.ventas@co.sika.com

CALI

Cll. 13 No. 72 - 12
Centro Comercial Plaza 72
Tels.: (2) 3302171 / 62 / 63 / 70
Fax: (2) 3305789
cali.ventas@co.sika.com

CARTAGENA

Albornoz - Vía Mamonal
Cra. 56 No. 3 - 46
Tels.: (5) 6672216 - 6672044
Fax: (5) 6672042
cartagena.ventas@co.sika.com

EJE CAFETERO

Centro Logístico Eje Cafetero
Cra. 2 Norte No. 1 - 536
Bodegas No. 2 y 4. Vía La Romelia
- El Pollo
Dosquebradas, Risaralda
Tels.: (6) 3321803 / 05 / 13
Fax: (6) 3321794
pereira.ventas@co.sika.com

MEDELLÍN

Km. 34 Autopista Medellín - Btá -
Rionegro
PBX: (4) 5301060
Fax: (4) 5301034
medellin.ventas@co.sika.com

SANTANDERES

Km. 7 - Vía a Girón
Bucaramanga - Santander
PBX: (7) 646 0020
Fax: (7) 6461183
santander.ventas@co.sika.com

TOCANCIPÁ

Vereda Canavita
Km. 20.5 - Autopista Norte
PBX: (1) 878 6333
Fax: (1) 878 6660
Tocancipá - Cundinamarca
oriente.ventas@co.sika.com,
bogota.ventas@co.sika.com

e-mail: sika_colombia@co.sika.com
web: col.sika.com



Responsabilidad Integral

CONSTRUYENDO CONFIANZA

