



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO PARA  
REPARACIONES Y REFORZAMIENTOS DE  
ESTRUCTURAS EN CONCRETO REFORZADO**

**Una revisión de literatura**

Autor(es)

Edwin Hernán Ospina Molina

René Alberto Castrillón Arenas

Universidad de Antioquia

Facultad Ingeniería

Medellín, Colombia

2021



**Alternativas de mejoramiento para reparaciones y reforzamientos de estructuras en  
concreto reforzado. Una revisión de literatura**

Edwin H. Ospina Molina y René A. Castrillón Arenas

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras**

Asesor:

Cesar Mauricio Daza Rodríguez

Ingeniero Civil – Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Línea de Investigación:

Revisión de Literatura

Universidad de Antioquia

Facultad Ingeniería

Medellín, Colombia

2021

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE ILUSTRACIONES.....	3
LISTA DE TABLAS .....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
1. PASOS PREVIOS A REALIZAR PARA UNA REPARACIÓN .....	7
1.1 Cambio de uso de la estructura .....	7
1.2 Determinar la resistencia de la estructura existente.....	7
1.3 Evaluar problemas estructurales.....	7
1.4 Actualización a los códigos y estándares actuales.....	8
2. ESTADO DEL ARTE DE INVESTIGACIONES FRENTE A LAS PATOLOGIAS MAS COMUNES PRESENTADAS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO .....	13
2.1 Reparaciones de fisuras.....	13
2.2 Encamisado de Estructuras con Concreto Reforzado .....	17
2.3 Investigaciones de Encamisado de Estructuras con Estructuras Metálicas.....	22
2.4 Investigaciones de sistemas de Fibras de Carbono (FRP) Externamente enlazadas.....	25
2.5 Investigaciones de Sistemas de reforzamiento con dispositivos de control de respuesta sísmica.....	30
3. CONCLUSIONES .....	39
4. BIBLIOGRAFÍA .....	43

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Fisuras Verticales Selladas en Estribo de Puente. ....	15
Ilustración 2. Fisuras con presencia de agua selladas en estribo de puente. ....	16
Ilustración 3. Reforzamiento de Columna en Concreto. ....	19
Ilustración 4. Reforzamiento de Viga con Concreto. ....	20
Ilustración 5. Tipos de encamisado de acero. ....	21
Ilustración 6. Encamisado de Columnas con Láminas de Acero ....	22
Ilustración 7. Encamisado de Columnas con Platinas de Acero. ....	23
Ilustración 8. Nudo Reforzado con Fibras de Carbono (FRP). ....	24
Ilustración 9. Instalación de Fibras de Carbono (FRP) en Viga. ....	25
Ilustración 10. Instalación de fibras de carbono (FRP) en columna. ....	26
Ilustración 11. Clasificación de los Principales Dispositivos para el Control de Vibraciones. ....	29
Ilustración 12. Disipador Tipo ADAS. ....	30
Ilustración 13. Disipador Viscoelastico. ....	31
Ilustración 14. Disipador de Fluido Viscoso (Taylor). ....	32
Ilustración 15. Disipador de Fluido Viscoso (Edificio Patio Panorama Chile). ....	32
Ilustración 16. Sistema de control pasivo de Neopreno zunchado. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 17. Comparación del Comportamiento Estructural con y sin Aislamiento Basal. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 18. Orden de Actividades Previas a la Intervención de una Estructura. ....	33

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas de reparación por tipo de fisura. ....	14
Tabla 2. Matriz de Comparación de Técnicas de Reparación. ....	17
Tabla 3- Ventajas y Desventajas del Encamisado en Concreto. ....	18
Tabla 4 Ventajas y desventajas de diferentes técnicas de reforzamiento. ....	27

## INTRODUCCIÓN

Esta monografía comprende una revisión de literatura para consultar el estado del arte acerca de las técnicas y procesos que contribuyan al mejoramiento de ejecución de obras de reparación y reforzamiento de estructuras de concreto reforzado para que se puedan preservar por más tiempo y tengan la capacidad de resistir eventos futuros, de modo que no se afecte su integridad y se puedan ajustar a la filosofía de diseño sismo resistente de acuerdo con los requerimientos y lineamientos exigidos por la normatividad vigente.

Este estudio sólo se enfocará en la literatura actual y aplicaciones en el medio sobre **Reparación de Grietas, Encamisado de Estructuras con Concreto Reforzado, Encamisado de Estructuras con Estructura Metálica, Sistemas de Fibras de Carbono (Frp) Externamente Enlazados y Sistemas de reforzamiento con dispositivos de control de respuesta sísmica.**

Finalmente, consultando el estado del arte se concluirá cuáles son las tendencias en técnicas de reforzamiento y reparación de estructuras, el orden correcto que se debe seguir para realizar la adecuada ejecución de un proyecto de estas características, y una vez conocido el estado del arte, experiencias, métodos, técnicas etc, se podrá estructurar un procedimiento a seguir e identificar las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos de reparación y reforzamiento de estructuras de concreto reforzado.

## **1. PASOS PREVIOS A REALIZAR PARA UNA REPARACIÓN**

De acuerdo con las normas vigentes relacionadas con la ejecución de reparaciones, es necesario tener en cuenta antes de iniciar la rehabilitación y/o intervención ciertos aspectos. Es así como la Norma ACI 364.1R-07 presenta procedimientos generales para la evaluación de estructuras de concreto antes de la rehabilitación; establece que antes de dar inicio a la rehabilitación, es necesario primeramente realizar una “investigación preliminar”, para luego proceder con la “investigación detallada”, lo cual dará parámetros índices para presentar conclusiones que definirán si se continúa o no con la investigación.

La investigación preliminar consiste en determinar las condiciones de la estructura, magnitud y tipo de problemas que esta tiene y la factibilidad para aplicar los métodos de rehabilitación o reforzamiento.

Como primera medida es necesario identificar cuál será la necesidad o causa requerida para la intervención según las siguientes condiciones:

### **1.1 Cambio de uso de la estructura**

Es necesario definir primeramente con el propietario el uso final que se desea para la estructura a rehabilitar, bien sea que se le cambie el uso final o se conserve su uso actual, pues las normas técnicas de diseño cambian notoriamente según el uso final que se requiera.

### **1.2 Determinar la resistencia de la estructura existente**

Es preciso realizar diferentes ensayos y evaluar la resistencia real de la edificación en estudio con el fin de identificar el tipo de rehabilitación a realizar.

### **1.3 Evaluar problemas estructurales**

Es necesario evaluar los problemas estructurales que presenten la edificación en estudio, los cuales irán de la mano con el numeral anterior pues la baja resistencia de los elementos o algunos de los elementos estructurales que conforman la estructura conllevan a problemas

estructurales que se verán reflejados bien sea en agrietamientos, pandeos, deflexiones, etc. los cuáles serán necesarios analizar en detalle.

Dada las condiciones anteriores y de conformidad con la norma relacionada es importante tener claridad del uso final que se pretende dar a la estructura, pues el costo de las obras de rehabilitación puede llegar a ser un determinante importante en la elección del método y las incomodidades que se generen en su implementación en cuanto a desalojos temporales y funcionamiento interrumpido de las actividades que se desarrollen en el inmueble durante el tiempo de intervención.

Una vez se tengan claros los objetivos del estudio se podrá proceder a la investigación detallada que generalmente consta de cinco pasos principales: revisión de documentación, observación de campo y estudio de condiciones, mediciones de la geometría y deflexiones, muestreo y material pruebas, evaluación e informe final.

**1) *Revisión de planos, especificaciones y registros de la construcción.*** Esto se refiere a planos y cálculos estructurales, planos de montajes y estructuras de concreto, planos de la ubicación de los refuerzos del concreto, planos de alteraciones a la estructura existente, fotografías de la estructura, códigos de construcción, información técnica del constructor, descripciones de materiales de construcción, entre otros.

**2) *Observaciones in-situ de las condiciones.*** Luego de haber realizado un análisis exhaustivo de la documentación obtenida, se debe realizar una inspección de campo de la estructura. Como complemento necesario de la inspección visual, al realizarse una investigación de campo, se debe verificar que la construcción concuerde con lo establecido en planos y a través de estos se debe realizar una evaluación preliminar visual del estado de la estructura.

**3) *Mediciones de la geometría, deflexiones, desplazamientos, grietas y otros daños.*** Cuando se verifica que la construcción concuerde con lo planificado, se deben realizar mediciones de la geometría estructural ya que pueden existir variaciones tardías en el diseño que difieren con la información mostrada en los planos. En particular, las alteraciones no registradas pueden ser críticas porque pueden ser la causa de la reducción en la resistencia de la estructura.



Es esencial determinar la ubicación del acero de refuerzo durante esta etapa. Ya que durante la construcción de la edificación podría no haberse cumplido con el diseño estructural y esto puede ser causa de fallas graves para las estructuras de concreto.

Al hacer la inspección de cargas se deben revisar las cargas muertas, ya que estas pueden haber variado en las dimensiones de los elementos estructurales o estar sometido a cargas gravitacionales diferentes a las concebidas inicialmente desde el diseño. Dentro de estas cargas se deben tomar en cuenta las cargas superpuestas en la estructura como son pisos arquitectónicos, acabados en los techos, sistemas mecánicos, muros divisores, revestimientos exteriores, etc.

De igual manera es muy importante hacer una revisión de las cargas vivas actuantes en la estructura ya que estas dependen del tipo de uso de esta. Es necesario averiguar si la estructura va a tener un uso futuro diferente o si en algún momento de la vida de la estructura fue sometida a solicitaciones mayores a aquellas con las que fue diseñada.

4) ***Pruebas no destructivas.*** Es necesario tener un amplio conocimiento de los tipos de ensayos que existen, en qué consiste cada uno de ellos, y qué información arrojan con el fin de escoger correctamente los ensayos a realizarse. La inspección visual y los ensayos no destructivos pueden ser insuficientes en ocasiones para determinar deterioros serios o fallas en la estructura. En estos casos el ingeniero supervisor estructural de la obra deberá recomendar la obtención de muestras mediante ensayos destructivos.

5) ***Muestreo, ensayos e informe final.*** Los requerimientos para ensayar materiales dependerán de los hallazgos realizados en la investigación preliminar y del enfoque del proyecto de reforzamiento estructural.

A este nivel del análisis de la estructura con todos los datos recopilados y estudios realizados, se podrá definir el tipo de intervención que se requiere a partir de lo evaluado en el análisis estructural de rehabilitación.

La descripción de todas estas etapas, se detalla una a una en los capítulos 3 al 8 del ACI 364.1R-07, donde se concluirá en un informe final el propósito y alcance de la investigación según lo acordado con el propietario; el informe debe contener las suposiciones hechas y métodos utilizados en el proceso de evaluación que deben estar claramente documentados. Una breve descripción de cada alternativa de reparación o del método de reforzamiento estudiado, adjuntando planos, bocetos, detalles, estimaciones de costos y el impacto del método de reparación sugerido. Las recomendaciones deben contener aspectos como: el plan de acción, presupuestos, planificación, limitaciones y factibilidad.

Adicionalmente en la norma ACI 562-19, se establecen los requisitos mínimos para evaluar, reparar y rehabilitar estructuras de concreto, teniendo en cuenta cada uno de los elementos de concreto estructurales, elementos estructurales prefabricados de concreto y elementos no estructurales.

La norma está conformada por once (11) capítulos, los cuales siguen cada uno de los procesos fundamentales para la correcta, segura, durable y económica rehabilitación de una estructura de concreto existente, es decir, que ha estado en uso y ocupación por un determinado período de tiempo desde su construcción.

A continuación, se realiza una breve descripción de lo que contiene cada uno de estos once capítulos:

- Capítulo 1.** Requerimientos generales: Información general con respecto al Código base local para diseño de estructuras.
- Capítulo 2.** Notaciones y definiciones: Terminología, definiciones y notaciones que se utilizan en esta norma.
- Capítulo 3.** Normas referidas: Listado de entidades y normas que se usan en este documento.
- Capítulo 4.** Criterios para usar el Código: Métodos de conformidad de acuerdo con el código base local ACI318.

- Capítulo 5.** Cargas, factores para combinaciones de carga y factores de reducción para reforzamiento: Para la evaluación y análisis de la estructura existente describe las combinaciones de carga y los factores de reducción.
- Capítulo 6.** Evaluación y análisis: Procedimientos para la evaluación y análisis de estructuras de concreto existentes.
- Capítulo 7.** Diseño de las reparaciones estructurales: Procedimientos para la evaluación y análisis de estructuras de concreto existentes.
- Capítulo 8.** Durabilidad de las reparaciones: Especificaciones y criterios para garantizar la durabilidad de las intervenciones a las estructuras existentes.
- Capítulo 9.** Construcción: Procedimientos y detalles para la construcción de la rehabilitación, incluye recomendaciones y requisitos para garantizar la estabilidad de la estructura durante la rehabilitación y los diferentes tipos de apuntalamiento temporal.
- Capítulo 10.** Aseguramiento y control de la calidad: Describe los diferentes ensayos, toma de muestras, interpretación de resultados para garantizar el aseguramiento y control de calidad de cada uno de los procesos y de los materiales de la rehabilitación.
- Capítulo 11.** Comentarios, referencias: Listado de los comentarios y referencias utilizados en la norma
- Apéndice A.** Criterios como un Código independiente: Aplicación y uso de esta norma como un Código independiente al Código base local ACI318.

Cabe resaltar que el ingeniero diseñador y constructor debe tener en cuenta el estudio y análisis de cada uno de estos estos once capítulos, pues son fundamentales para el diseño y la ejecución de una correcta reparación de una estructura en concreto ya existente, pues suministrarán a éstos y a los propietarios, cada uno de los requisitos consistentes para la evaluación y reparación de las estructuras en concreto; teniendo en cuenta por ejemplo, el capítulo 7, numeral 7.5 que está enfocado a los materiales a utilizar dentro de este proceso de construcción, indicando todas las consideraciones, recomendaciones y especificaciones para la selección correcta de los diferentes materiales para sanear, reparar, reforzar y proteger las estructuras de concreto que se están rehabilitando, pues es de vital importancia que el diseño de rehabilitación contemple la adecuada compatibilidad entre las diferentes características y propiedades de los materiales a utilizar con los materiales del concreto existente, como por ejemplo: La adherencia, el módulo de elasticidad,

coeficiente de dilatación térmico, la permeabilidad, entre otras. Así mismo la norma establece cada uno de los parámetros a seguir no solo para la seguridad de las personas que se encuentren trabajando dentro de las estructuras durante los trabajos de remoción, reparación, reemplazo y reforzamiento, sino también para la protección de los elementos estructurales y no estructurales aledaños a la zona que se interviene, exigiendo que los planos y especificaciones definan los requisitos para mantener la estabilidad estructural, como el apuntalamiento de los elementos durante todas las fases de la rehabilitación estructural, entre otros.

Es así entonces como la Norma ACI 562-19 expone los requisitos mínimos para evaluar y reparar estructuras de concreto con el objeto de defender la vida y proteger el patrimonio, como pilar principal a seguir por parte de los ingenieros encargados de la rehabilitación de proyectos.

## **2. ESTADO DEL ARTE DE INVESTIGACIONES FRENTE A LAS PATOLOGIAS MAS COMUNES PRESENTADAS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

En la construcción de estructuras de concreto se pueden presentar innumerables tipos de fallas ocasionadas por errores que se originan desde el cálculo estructural, procesos constructivos e incluso en la falta de mantenimiento de la estructura. En el medio, como solución para el tratamiento de estas fallas se utilizan comúnmente técnicas como: reparación de fisuras, encamisado en concreto, encamisado en estructura metálica y colocación de fibras de carbono.

### **2.1 Reparaciones de Fisuras**

En Colombia, las estructuras de concreto reforzado poseen un papel dominante en el desarrollo de la construcción y superan con gran ventaja a otras alternativas de materiales tales como la madera y el acero. Sin embargo, el concreto reforzado es susceptible a sufrir fisuración durante su vida de útil, frente a este hecho nace la necesidad de encontrar soluciones para mantener una edificación durable, segura y cuidar la estética de este (Calderón, 2008). Las fisuras causan inquietud en los usuarios, aunque no necesariamente representan un riesgo mayor en la estructura es necesario poder identificarlas y clasificarlas de acuerdo a su ancho, a su tiempo de aparición, a su origen, e incluso a su naturaleza de desarrollo. De la revista Construcción y tecnología en concreto, de marzo del 2012 se define que, de acuerdo a su ancho de abertura, es común diferenciar

una grieta de una fisura cuando la abertura es mayor a 0.30 mm, cuando las aberturas no sobrepasan los 0.30 mm, podemos hablar de fisuras. En el caso en que el daño fragmenta en partes independientes la estructura o partes de la misma; en este caso se estaría en presencia de lo que generalmente se conoce como fractura.

En el documento, *Reparación de Grietas Estructurales Por Inyección de Resinas Epóxicas* (Boletín 1 de RAP del ACI), por Brian F. Keane 2012, se analiza la técnica de reparación de grietas inyectadas con resina epóxica a presión. Esta técnica varía según la localización, forma de aplicar la resina, tamaño, accesibilidad, equipo de inyección, y otros aspectos relevantes que son de suma importancia dependiendo de los requisitos específicos del proyecto. Es importante tener en cuenta que, si la grieta aún está en movimiento, esta técnica no será la adecuada para este caso.

Cuando se ha determinado que la grieta no afecta la estabilidad estructural de la edificación, la inyección con grouts de poliuretano u otros materiales no estructurales es la opción más adecuada para rellenar la grieta. Para el caso contrario deberá primero solucionarse la causa principal de la afectación de la grieta a la estructura antes de proceder con la inyección de la resina epóxica. Cuando existe humedad en la grieta y no puede secarse, deberá considerarse el uso de una resina epóxica tolerante a la humedad. Las grietas que son causadas por corrosión del acero de refuerzo no deben repararse por inyección de resina epóxica ya que la corrosión continúa causando la aparición de nuevas grietas.

Otro método utilizado para la reparación de grietas es el relacionado en el documento *Reparación de Grietas Inyectando Resinas Por Medio de Gravedad* (Boletín 2 de RAP del ACI), por Richard Montani 2012. Este tipo de reparación consiste en llenar la grieta y unir estructuralmente el concreto que estaba separado. Esta reparación solo aplica en grietas que ya se hayan controlado. El procedimiento de llenado por gravedad es recomendado únicamente para sellar las fisuras, ya que con este método no se puede garantizar que se abarque el 100% de la fisura en toda su profundidad; si se requiere hacer una reparación estructural de un elemento donde requiera abarcar por completo la fisura, se debe hacer una inyección epóxica a presión.

Este proceso lo que hace es sellar la superficie de concreto inundando con una capa toda la grieta, comúnmente se denomina a esta aplicación sellador/sanador. En la Tesis, de Rosa Katherine García García denominada *Evaluación y reparación de fisuras en estructuras de concreto armado mediante el comité ACI 224 en el Distrito de Vicco – Pasco, Perú, 2018*, se hace énfasis de la importancia que debe darse a los fenómenos de corrosión o la desagregación química en las estructuras de concreto, pues muchas veces pueden ser más peligrosas y difíciles de reparar. Todos estos problemas internos de la estructura se manifiestan exteriormente mediante fisuras y grietas que en ocasiones pueden suponer un peligro para elemento. Si se manifiestan sólo en la superficie se denominan fisuras, mientras que, si se producen en todo el espesor y pasan de una cara a otra, se llaman grietas.

En el artículo técnico presentado por Sotomayor C. en 2020 llamado: *Entendiendo a las fisuras y grietas en las estructuras de concreto*; se presentan algunas de las principales técnicas de reparación existentes para estructuras de concreto con problemas de fisuras y las resume en la Tabla No.1. Estas técnicas dependen básicamente del ancho de las fisuras cuyo rango varía desde 2 mm a mayores de 5 mm; igualmente, se debe identificar la causa que generó la fisura.

Tabla 1. Técnicas de reparación por tipo de fisura.

TIPO	TÉCNICA DE REPARACIÓN SEGÚN ESPESOR DE FISURA Y/O GRIETA	
Asentamiento plástico	$0.2 < e < 0.5 \text{ mm}$	Resina de inyección de baja viscosidad, bicomponente con base epoxi.
	$e > 0.5 \text{ mm}$	Resina epóxica de inyección o lechada estructural cementosa monocomponente.
Contracción plástica	$0.2 < e < 0.5 \text{ mm}$	Resina de inyección con bajo contenido de sólidos y baja viscosidad para asegurar una penetración efectiva.
Contracción por secado		
Expansión y contracción térmica	$e < 0.2 \text{ mm}$	Puede no requerir reparación desde el punto de vista estructural, pero si por durabilidad. Usar resina de inyección con bajo contenido de sólidos y baja viscosidad para una penetración efectiva.
	$e > 0.5 \text{ mm}$	Relleno con resinas epoxicas (en fisuras estables y sin movimiento)
		Realizar juntas de dilatación térmica (para el caso de muros)
		Sellador elástico (para fisuras con movimiento)

Fuente: COSULCRETO 2020

Aunque la mayoría de estos tipos de fisuras y grietas que aparecen a edad temprana, raramente afectan el comportamiento estructural de los elementos en concreto reforzado. No obstante, deben resanarse tan pronto cese su aparición para evitar el ingreso de agentes externos nocivos como los cloruros, sulfatos, sales, u otras sustancias químicas, que puedan comprometer su durabilidad.

En la Ilustración 1 se observa el estribo de un puente vehicular que fue intervenido debido a las diversas grietas que atravesaban el elemento estructural; en este caso, al verse afectada su

integridad estructural fue necesario inyectar estas fisuras mediante epóxicos propuestos en Sika. (2017). *Reforzamiento de Estructuras de Concreto, técnicas y materiales*. Sika Colombia.

*Ilustración 1. Fisuras Verticales Selladas en Estribo de Puente.*



*Fuente: Tomado de Brochure Fisuras en el concreto reforzado, SIKA*

En la Ilustración 2 se observa la técnica de inyección con boquillas ancladas, este método de inyección es normalmente utilizado para sellar fisuras con presencia de agua (a presión o sin presión). Este problema se presenta en estructuras enterradas que tienen un nivel freático alto y en donde posiblemente no se tomaron precauciones para que el agua no ingresara al interior del edificio. Es típico ver estos problemas en los muros de contención de los sótanos, losas de los sótanos y tanques que contienen agua. El método consiste en utilizar boquillas que se anclan a los lados de la fisura a intervenir.



*Ilustración 2. Fisuras con presencia de agua selladas en estribo de puente.*



*Fuente: Tomado de Brochure Fisuras en el concreto reforzado, SIKA*

## **2.2 Encamisado de Estructuras con Concreto Reforzado**

De acuerdo con los autores Raza, S., Khan, M. K., Menegon, S. J., Tsang, H. H., & Wilson, J. L (2019), en los encamisados tradicionales de concreto reforzado, la sección de la columna se amplía proyectando una nueva sección de concreto reforzado, sobre una parte o toda la longitud de la columna. La nueva sección está unida a la original a través de barras de anclaje o pernos de alta resistencia.

En la monografía de Estefanía Ospina Gómez y Jonathan López Román 2019, Denominada: *Efectividad de las técnicas de revestimiento más comunes para el reforzamiento de columnas de concreto reforzado*; se plantea que en la actualidad existen técnicas de revestimiento que permiten el reforzamiento de elementos estructurales, pero el documento se enfoca en sólo tres métodos de los más utilizados comúnmente para el reforzamiento de columnas de concreto reforzado: encamisado en concreto reforzado, encamisado en acero o platinas metálicas y revestimiento con polímeros reforzados de fibra de carbono. Apoyándose en investigaciones experimentales de

varios autores en columnas de concreto reforzado intervenidas por las técnicas antes mencionadas, realizan una matriz de comparación de las tres técnicas, como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Matriz de Comparación de Técnicas de Reparación.

<b>Método de reforzamiento</b>	<b>Efecto en la capacidad</b>	<b>Efecto en la rigidez</b>	<b>Tiempos de ejecución</b>	<b>Costo del reforzamiento</b>	<b>Estética e impacto a la arquitectura</b>	<b>Efecto en la durabilidad</b>
<b>Encamisado en concreto reforzado</b>	Aumenta	Aumenta	Muy Alto	Alto	Muy alto	Aumenta
<b>Encamisado en acero o platinas metálicas</b>	Aumento significativo	Aumenta	Bajo	Alto	Moderado	Aumento significativo
<b>Revestimiento con polímeros reforzados de fibra de carbono</b>	Aumenta	No aumenta	Bajo	Moderado	Bajo	Moderado

Fuente: Tomada de la Monografía de Ospina y López, 2019

Como conclusiones generales expresan que, aunque el encamisado de concreto se puede revocar y estucar para un excelente acabado, en realidad el aumento de área de la sección transversal visualmente genera oposición en algunos propietarios por la reducción de áreas y espacios de circulación.

El encamisado con concreto reforzado y acero adicional es una técnica más elaborada y como producto final se tiene un acabado arquitectónico más favorable, ya que el trabajo de refuerzo no es visible, simplemente es un aumento de la sección de la columna. Es una técnica que es complementaria a la columna existente y ayuda al núcleo de concreto existente a absorber y distribuir las cargas.

En la Tabla 3 se pueden observar las ventajas y desventajas en el método de encamisado en concreto reforzado así:

Tabla 3- Ventajas y Desventajas del Encamisado en Concreto.

<b>Método de reforzamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Encamisado en concreto reforzado.</b>	Material comunmente usado / disponible.	Costoso, implica mucho trabajo y tiempo debido a la instalación del encofrado y la formaleta.
	Familiaridad de ingenieros en ejercicio con el material.	Cambio en el tamaño de la sección transversal llevando a un cambio en la rigidez y demandas sísmicas.
	Capacidad del concreto reforzado para tomar cualquier forma.	Ocupa mayor espacio, modificando los espacios arquitectónicos.
	Aumenta tanto de la capacidad como la ductilidad.	Material muy pesado
	El aumento de la ductilidad es muy bueno siempre y cuando se garantice un buen detallado del refuerzo.	-

Fuente: Tomada de la Monografía de Ospina y López, 2019

En la Ilustración 3 puede detallarse un procedimiento típico de encamisado de columnas y aumento de su sección transversal, que consiste en proporcionar a la columna existente una mayor área transversal con concreto adicional y a su vez más barras de refuerzo longitudinal y transversal.

*Ilustración 3. Reforzamiento de Columna en Concreto.*



*Fuente: <https://epachon.wordpress.com/2014/01/16/e-4-refuerzo-de-pilares-de-hormigon-armado-mediante-encamisado-o-recrecido-de-su-seccion>)*

Otro documento consultado fue el proyecto final de graduación para optar por el grado como Ingeniero en Construcción, Eduardo Raigosa Tuk, 2010 denominado *Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales*.

En el documento se analizan principalmente obras de pequeño y mediano tamaño, de máximo dos niveles de altura y en el estudio se demuestra que por falta de información de los constructores muchas de estas viviendas han quedado mal construidas al punto de contemplar la posibilidad de ser demolidas. Se demuestra que al aplicar las técnicas correctas, la capacidad de los elementos estructurales podrá superar las capacidades requeridas de diseño como resistencia a la compresión, flexión, etc.

Como conclusión del estudio realizado, se indica que la implementación de técnicas de reforzamiento a elementos estructurales que presenten deficiencias en sus componentes es

favorable, pues los resultados en cuanto al aumento de su resistencia son beneficiosos para la estructura. En cuanto a las columnas concluyen que reforzar una columna con insuficiencia de estribos puede ser una tarea factible, rápida y económica en función de una demolición, utilizando una reparación de la zona identificada.

En cuanto a las vigas de concreto reforzado que por algún motivo presenten bajas resistencias a la compresión del concreto, el autor no recomienda el reforzamiento por los altos costos y dificultad en la ejecución y afirma que es mejor realizar para este caso la demolición de la viga.

En la Ilustración 4 se observa una forma de colocar el refuerzo para la repotenciación de una viga de concreto con varillas pernadas a la columna y a la viga mediante epóxicos.

*Ilustración 4. Reforzamiento de Viga con Concreto.*



*Fuente: Tomado de Reforzamiento y Actualización Sísmica de Estructuras Ing. Jorge Rendón [rendon.jorge@co.sika.com](mailto:rendon.jorge@co.sika.com) Junio de 2016*

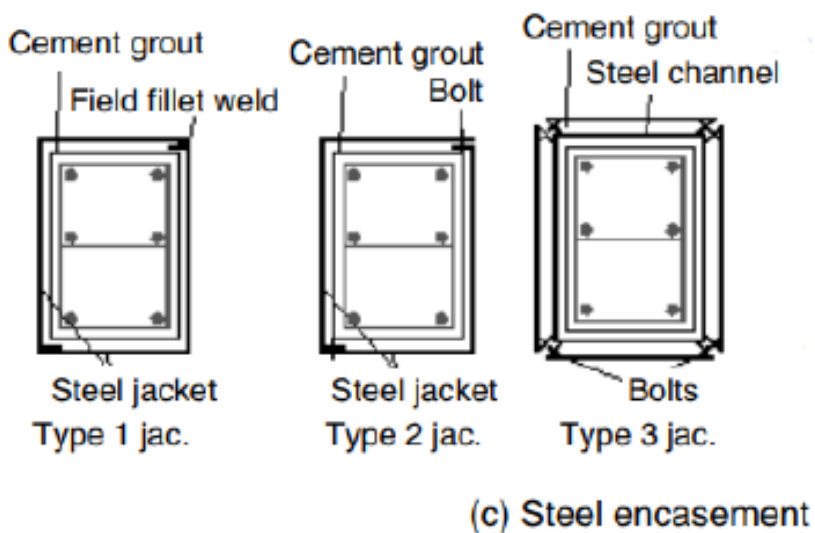
### **2.3 Investigaciones de Encamisado de Estructuras con Estructuras Metálicas**

Los autores Wu, Y. F, Liu, T, & Oehlers, D. J, (2006) expresan que existen varios tipos de encamisado en acero para columnas de concreto reforzado. Por lo general esta técnica implica envolver placas, tiras o barras de acero en la dirección transversal del elemento, para esto, en

ocasiones es necesario retirar la superficie del concreto antes de instalar el refuerzo de estructura metálica.

En la monografía de Estefanía Ospina Gómez y Jonathan López Román 2019, denominada *Efectividad de las técnicas de revestimiento más comunes para el reforzamiento de columnas de concreto reforzado* se mencionan algunas de las configuraciones típicas de reforzamiento en acero propuestas por Wu, Y. F, Liu, T, & Oehlers, D. J, 2006, en las cuales la columna está encerrada o envuelta por una placa de acero alrededor de la cara externa de la columna como se presenta en las ilustraciones 6 y 7. Se analizan dos tipos de configuraciones de reforzamiento en acero, conformados por dos placas en forma de L como los Tipos 1 y 2 (Ver Ilustración 5) alrededor de la columna, que luego se sueldan o atornillan para proporcionar un encamisado transversalmente continuo. El espacio entre la placa de acero y la cara de la columna se rellena con mortero fluido sin retracción. También es un método común la configuración Tipo 3 que se detalla en la Ilustración 5, implementando ángulos de acero, colocados en las esquinas de la columna y soldados a las placas de acero para conformar el encamisado.

*Ilustración 5. Tipos de encamisado de acero.*



*Fuente: Wu, Y. F., Liu, T., & Oehlers, D. J. (2006). Fundamental principles that govern retrofitting of reinforced concrete columns by steel and FRP jacketing*

En el documento análisis y diseño de reforzamiento de estructuras de hormigón armado deficientes con estructura metálica para evitar el colapso mediante la acción de un movimiento sísmico, (Abeiga N, 2016). Se concluyen algunas ventajas de la utilización de encamisado con estructuras metálicas dentro de las que se destacan que los elementos estructurales que están conformados por placas de acero aumentan su capacidad de carga no solo por la capacidad de carga de la placa sino también porque aumenta su confinamiento del concreto aunque este fisurado.

Los elementos que conforman el encamisado en estructuras metálicas son en general muy ligeros pero de gran resistencia a deformaciones y demás requerimientos exigidos por esfuerzos tanto estáticos como dinámicos; su construcción requiere poco tiempo de ejecución, aunque cabe mencionar que es necesario contar con personal técnico más especializado para el trabajo.

En la Ilustración 6 se observa un encamisado típico en acero, donde se recubre toda la superficie de la columna con una lámina de acero abrazándola por completo para brindarle un confinamiento total al elemento de concreto.

*Ilustración 6. Encamisado de Columnas con Láminas de Acero*



*Fuente: Tomado de: (CICP-EC.com)*

La Ilustración 7 presenta ángulos de acero enmarcando las esquinas de la columna en la dirección longitudinal y en la dirección transversal del elemento, láminas de acero amarrando los ángulos que abrazan a su vez el concreto.

*Ilustración 7. Encamisado de Columnas con Platinas de Acero.*



*Fuente: Tomado de: (CICP-EC.com)*

#### **2.4 Investigaciones de Sistemas de Fibras de Carbono (FRP) Externamente Enlazados**

Los autores Wu, Y. F, Liu, T, & Oehlers, D. J (2006), explican que las camisas de polímeros reforzados de fibra (FRP) se forman al unir el carbono continuo, el vidrio, la aramida u otras fibras sintéticas y la lámina de fibra o la placa de fibra a la cara de la columna con una matriz de epóxico,



viniléster o poliéster. Similar a las camisas de acero, la función principal de la cubierta transversal continua es proporcionar confinamiento al concreto.

La Ilustración 8 muestra un reforzamiento de un nudo estructural con la aplicación de fibras de carbono, el cual obedece al mejoramiento de la capacidad y comportamiento del nudo ante las sollicitaciones de fuerzas sísmicas; cuando el nudo no posee la capacidad de resistencia requerida.

*Ilustración 8. Nudo Reforzado con Fibras de Carbono (FRP).*



*Fuente: construAprende.com*

El procedimiento constructivo para ejecutar un reforzamiento con FRP en una columna de concreto según investigación realizada con un asesor de la empresa Toxement en la monografía de Estefanía Ospina Gómez y Jonathan López Román 2019, consiste en apuntalar con tacos metálicos alrededor de la columna afectada, demoler y redondear las esquinas, limpiar la superficie por medio del método de abrasión, aplicar en todas las caras de la columna un epóxico para adherir los tejidos de fibra de carbono “Duralcrete ESR” (para el caso de la marca comercial Toxement), colocar en todo

el perímetro el tejido en fibra de carbono de 300 gr/m<sup>2</sup> “Euco Carbon Fiber CFS 300” (para el caso de la marca comercial Toxement), este último se debe traslapar como mínimo 12 cm. Como el ancho del Euco Carbon Fiber CFS 300 es de 50 cm, para una columna de 3 m de altura, se deben colocar aproximadamente 7 capas con una longitud de 1.35 m, traslapando verticalmente como mínimo 10 cm; por último, se vuelve aplicar una capa de Duralcrete ESR sobre el tejido para protegerlo y darle finalmente el acabado deseado a la columna.

Como se puede observar en las Ilustraciones 9 y 10, el procedimiento sugerido para el reforzamiento de columnas descrito anteriormente también aplica al reforzamiento de vigas y elementos de concreto en general.

*Ilustración 9. Instalación de Fibras de Carbono (FRP) en Viga.*



*Fuente: Reforzamiento y Actualización Sísmica de Estructuras Ing. Jorge Rendón. 2016*

*Ilustración 10. Instalación de fibras de carbono (FRP) en columna.*



*Fuente: Reforzamiento y Actualización Sísmica de Estructuras Ing. Jorge Rendón 2016*

Igualmente, de la monografía de Estefanía Ospina Gómez y Jonathan López Román 2019, se concluye que luego de realizar ensayos a especímenes de concreto reforzado con las tres técnicas incluidas en su monografía: encamisado en concreto reforzado, encamisado en acero o platinas metálicas y revestimiento con polímeros reforzados con fibra de carbono, los autores concluyen que los tres métodos poseen ventajas y desventajas que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4 Ventajas y desventajas de diferentes técnicas de reforzamiento.

Método de reforzamiento	Ventajas	Desventajas
<b>Encamisado en acero o platinas metálicas.</b>	Material comunmente usado / disponible.	Costoso e implica mucho trabajo su instalación
	Aumenta tanto la capacidad como la ductilidad, debido a las excelentes características del confinamiento de la columna.	Susceptible a oxidación y corrosión.
	-	Cambio en el tamaño de la sección transversal llevando a un cambio en la rigidez y demandas sísmicas.
	-	Material muy pesado
<b>Revestimiento con polimeros reforzados de fibra de carbono</b>	Facilidad y rapidez de instalación.	Material costoso (pero el costo total es bajo debido al rápido proceso de instalación y transporte).
	Resistencia a la corrosion.	Bajas propiedades ante la exposición de altas temperaturas y ambiente húmedo.
	Modificación mínima de la geometría y estética de la estructura.	El aumento de la capacidad es relativamente pequeño.
	Interrupción mínima de la ocupación y espacios arquitectónicos.	-
	Alta durabilidad, alta relación de la resistencia y bajo peso.	-
	Mejor seguridad laboral y mínimo riesgo en la ejecución.	-
	Aumenta de la capacidad y ductilidad del elemento.	-

Fuente: Monografía de Ospina Gómez y López Román

Ospina y Román (2019) , concluyen que el reforzamiento con fibras es la técnica que menos afecta las áreas y la distribución arquitectónica, ya que aunque el encamisado en concreto se pueda revocar y estucar, no deja de ser molesto el aumento de sección que reduce el área y la distribución arquitectónica y en cuanto al reforzamiento con estructura metálica, la visual de los elementos metálicos sobre columnas no debe ser de agrado a las personas que deban interactuar permanentemente con este elemento estructural.

Igualmente concluyen que la durabilidad de los elementos reforzados en acero y concreto aumentan notablemente en comparación con los de fibra de carbono, debido a que estos últimos son más flexibles y pueden ser afectados fácilmente por el entorno. Finalmente, revisando las tres técnicas de reforzamiento y reparación estudiadas en su escrito, determinan que el método de

revestimiento con fibra de carbono es el más efectivo por su rendimiento en la instalación y por mantener la estética y geometría de la estructura.

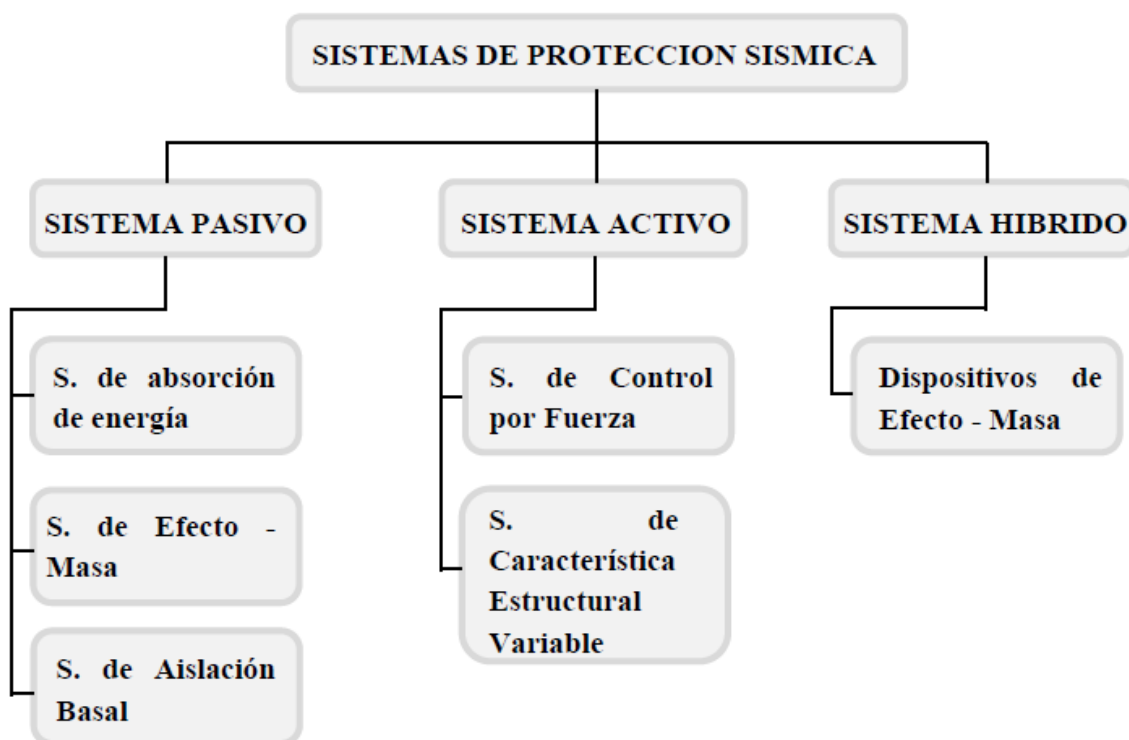
### **2.5. Investigaciones de Sistemas de reforzamiento con dispositivos de control de respuesta sísmica.**

De acuerdo con los autores Carranza, J. Calderón, S. Miguel, E. (2015), en la construcción tradicional, el sismo transmite energía a la estructura y esta se transforma en energía elástica de deformación y energía disipada. La energía elástica está conformada por energía no disipada o recuperable y energía cinética, y la energía disipada está conformada por energía de amortiguamiento y energía histerética.

El desempeño de una estructura ante solicitaciones sísmicas, mejora cuando un porcentaje de esta energía no disipada es absorbida por un dispositivo suplementario como los de control de respuesta sísmica. El objetivo de implementar disipadores de energía en las construcciones existentes es absorber la energía inducida por el sismo en elementos que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica. Existen varios tipos de dispositivos de protección sísmica o de control de respuesta sísmica, cuyo objetivo es que la estructura resista un sismo severo de manera que pueda continuar con su funcionamiento.

En la Ilustración 11 tomada de la tesis “Reforzamiento de una estructura aporricada con disipadores de fluido viscoso para un mercado en la ciudad de Trujillo”, de los autores Carranza, J. Calderón, S. Miguel, E. (2015), se muestran los diferentes tipos de dispositivos de control de respuesta sísmica.

Ilustración 11. Clasificación de los Principales Dispositivos para el Control de Vibraciones.



Fuente: Carranza J; Calderón S, Miguel E (2015). "Reforzamiento de una estructura aporticada con disipadores de fluido viscoso para un mercado en la ciudad de Trujillo"

Esta monografía se enfocará en los sistemas de control pasivo como disipadores de energía y de manera particular en los sistemas de absorción de energía. Bajo esta denominación de sistemas de control pasivo, se encuentran una serie de medidas para concentrar la disipación de energía, proporcionando ductilidad (capacidad de deformación) en algunas zonas críticas de la estructura proveyéndolas de elementos mecánicos que absorban parte de la energía y aumenten el amortiguamiento de esta. Esa es una de las finalidades de los dispositivos de control pasivo, además de modificar las frecuencias naturales de vibración alejándolas de las frecuencias producidas por la excitación del sismo, y evitar lo que se conoce como el fenómeno de resonancia.

Otros dispositivos de control pasivo son los disipadores de energía los cuales no alteran la energía de entrada (sísmica) absorbiendo gran parte esta y disipándola en forma de calor o transferencia entre modos de vibración.

Existen tres tipos de disipadores de energía:

1. Históricos:

Estos disipadores se muestra en la Ilustración 12 y dependen básicamente de los desplazamientos de la estructura, lo que quiere decir que se fundamentan en la plasticidad del acero a partir de los esfuerzos realizados por este, obteniendo una muy buena capacidad de amortiguamiento.

*Ilustración 12. Disipador Tipo ADAS.*



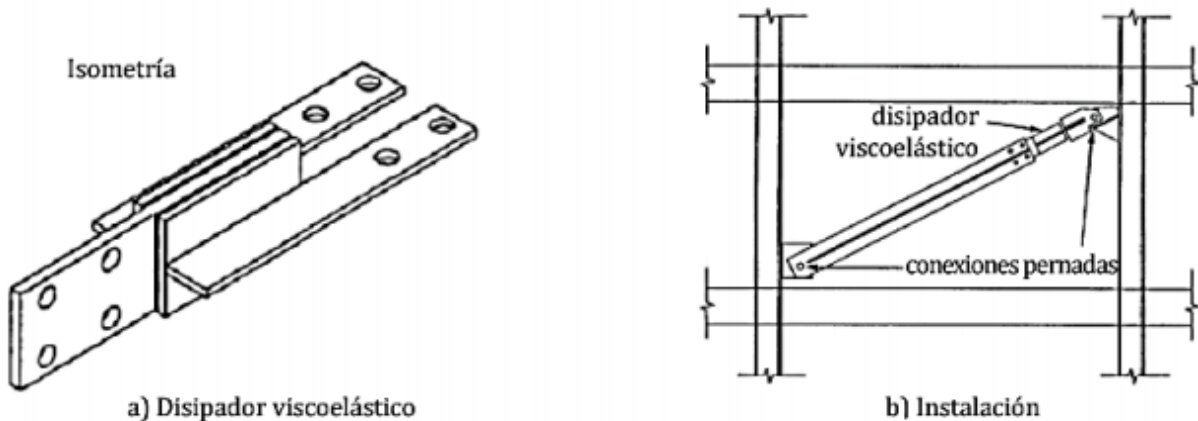
*Fuente: DISIPA ingenieros. disipaing.com*

2. Viscoelásticos:

Estos disipadores están formados por placas de acero unidas por un material visco elástico tal y como se observa en la Ilustración 13 y no sólo se han utilizado contra los sismos, sino también para el control de vibraciones inducidas por viento. Los materiales viscoelásticos son generalmente polímeros que, al ser deformados por cortante, ofrecen capacidad de disipación de energía.

La Ilustración 13 muestra el esquema típico de estos dispositivos en los que la disipación tiene lugar cuando existe desplazamiento relativo entre las placas de acero externas y el material viscoelástico interno. En el diseño se deben tomar las previsiones necesarias contra los cambios fuertes de temperatura, deformaciones excesivas y frecuencia de vibración, ya que pueden modificar el comportamiento del dispositivo.

Ilustración 13. Disipador Viscoelástico.



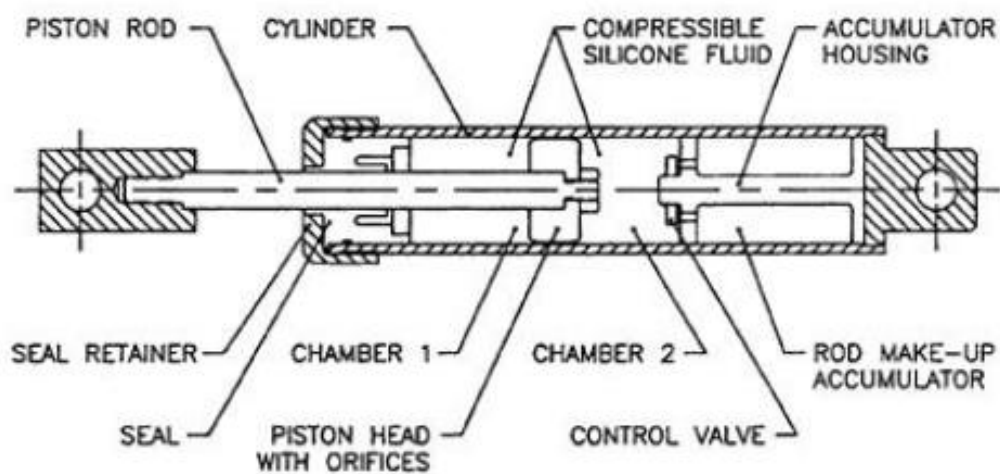
Fuente: *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras, ingeniería sísmica. Banco de desarrollo de América latina*

### 3. Fluido viscoso:

Estos dispositivos transportan un elemento a través de un fluido viscoso y se detalla con las Ilustraciones 14 y 15, esto genera fuerzas opuestas al movimiento del elemento que son proporcionales la velocidad. Normalmente estos disipadores funcionan con un pistón entre un cilindro lleno de aceite de silicona (o algún otro medio viscoso) en el cual la energía es disipada durante el movimiento del fluido viscoso en el cilindro.



Ilustración 14. Disipador de Fluido Viscoso (Taylor).



Fuente: Carranza J; Calderón S, Miguel E (2015). "Reforzamiento de una estructura aporticada con disipadores de fluido viscoso para un mercado en la ciudad de Trujillo"

Ilustración 15. Disipador de Fluido Viscoso (Edificio Patio Panorama Chile).

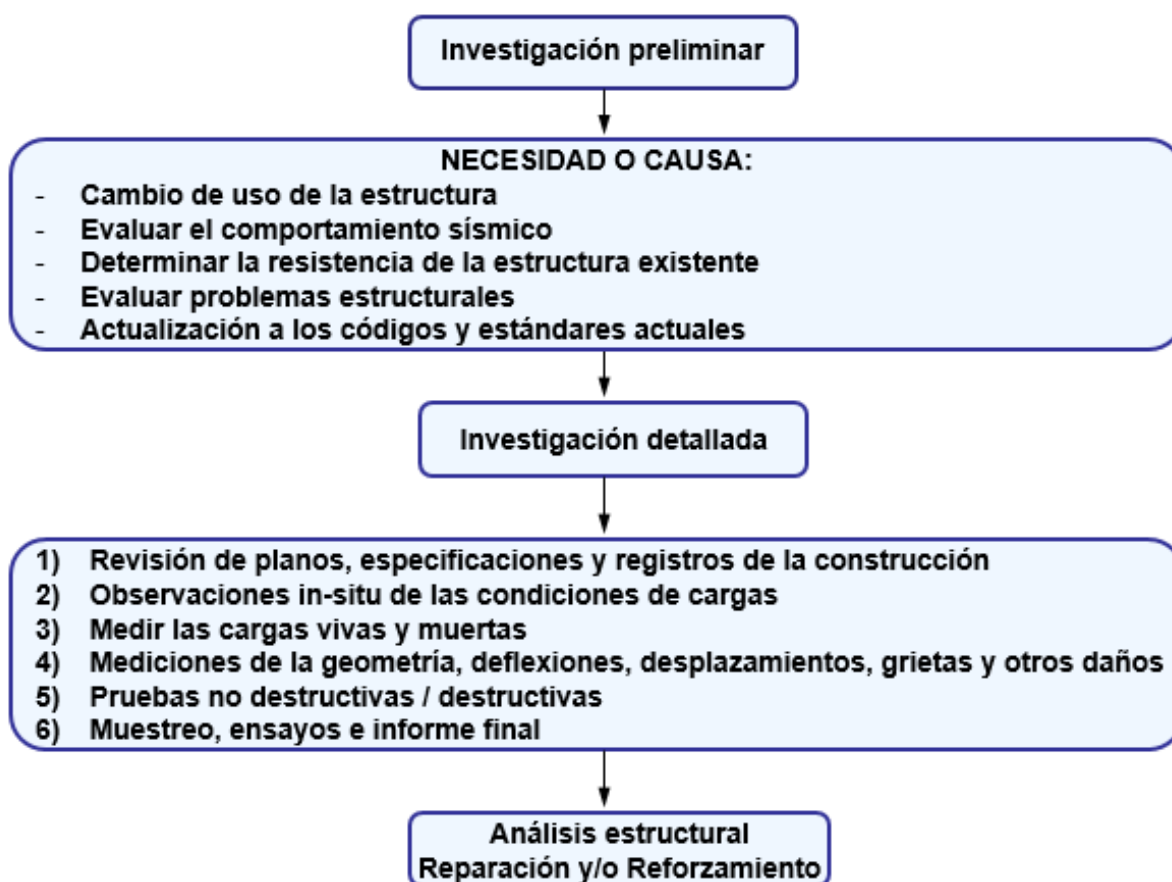


Fuente: Nuyuntek.cl

De acuerdo la revisión de la literatura realizada sobre técnicas de reforzamiento de estructuras de concreto se presenta en la Ilustración 18 un diagrama de flujo del proceso previo a realizar una reparación estructural y las ventajas/desventajas de cada uno de los métodos investigados:

Ilustración 16. Orden de Actividades Previas a la Intervención de una Estructura.

## Proceso previo a la intervención de la estructura



Fuente: propia

Después de realizar el análisis y evaluación de la estructura y una vez definida la viabilidad técnica del tipo de intervención para la reparación y/o reforzamiento, se procederá a la planeación para una correcta ejecución de las obras civiles mediante la elaboración de documentos técnicos como planos de detalle, memorias de cálculo, secuencias constructivas, especificaciones, entre otras donde se muestren todas las consideraciones necesarias para la adecuada intervención.

Ya aprobada toda la documentación ante la autoridad reguladora (Curaduría urbana y/o planeación), se procede a organizar la programación de obra y a realizar la evaluación de los costos que demandará el proyecto. Cabe resaltar que en las obras de reforzamiento y reparación de estructuras, se debe tener en cuenta la idoneidad del personal, ya que son obras que demandan más rigor técnico, inclusive más aún si la intervención se va a realizar utilizando elementos en acero. Adicionalmente, se debe tener especial cuidado en el desarrollo de las actividades de reforzamiento, ya que al ser estructuras con un largo tiempo de vida que posiblemente tengan un desgaste acentuado y las ejecución de las obras de reforzamiento pueden afectar parte de otros elementos de la estructura.

### 3. CONCLUSIONES

- Con la revisión de literatura realizada se concluye que en el medio las técnicas de reforzamiento y reparación de estructuras con encamisado en concreto y en estructura de acero son las mayormente utilizadas en el país, debido a su fácil implementación y la experiencia de los profesionales a cargo de las obras a intervenir, hace que estas dos técnicas sean más fáciles de ejecutar; aunque el reforzamiento con fibras de carbono está tomando gran fuerza, es una técnica poco utilizada debido al tabú que genera introducir productos nuevos en el medio aunque ya cuenten con una amplia trayectoria e incluso códigos normativos al respecto en otros países. Respecto a los sistemas de reforzamiento con dispositivos de control de respuesta sísmica se concluye que son muy eficientes para el control de derivas y blindar a las estructuras ante eventos sísmicos severos, pero igualmente no son de frecuente uso en el país ya que requieren mayor estudio, inversión y capacitación entre los profesionales facultados para este tipo de trabajos.
- El encamisado en concreto tiene mayores desventajas en comparación con las fibras de carbono al aumentar las dimensiones finales del elemento. Además, implica mayor tiempo debido a la instalación del encofrado y el fraguado del concreto; con las fibras de carbono su aplicación es inmediata y no generan incrementos en las dimensiones de los elementos reparados. Debido a su apariencia, las fibras de carbono finalmente pueden pasar desapercibidas.
- Basados en las recomendaciones descritas en las normas ACI-364.1R-07 y ACI 562-19 respecto al orden correcto para realizar la adecuada ejecución de un proyecto de reforzamiento y reparación de estructuras; se puede concluir que la primera etapa consiste en la identificación de la necesidad o causa requerida para la intervención, se depurarán desde el inicio del proyecto ideas erróneas para la escogencia de alguna técnica de reparación, debido a que al identificar la necesidad o causa se limitarán algunas técnicas que sólo son aplicables a ciertos estados y necesidades reales de la estructura y del dueño del proyecto. Con la siguiente etapa, que es la investigación detallada que consta de cinco pasos principales, igualmente se determinará la necesidad y escogencia de la técnica más

adecuada para el proyecto; con la revisión de documentos como planos, bitácoras de obra, informes de interventoría, registro fotográfico y memorias de cálculo entre otros, se tendrá un mayor conocimiento del sistema de resistencia sísmica que posee la estructura, calidad de la construcción, calidad de la cimentación, etc. Posteriormente, con la observación de campo y la investigación del entorno de la estructura se tendrá una visión más amplia del panorama del proyecto y se corroborarán medidas y ubicación de elementos estructurales respecto a los documentos iniciales. Una vez identificados los elementos de resistencia sísmica relevantes y los que presenten síntomas de fallas o problemas, se realiza el muestreo y recolección de material para pruebas; con toda esta información recolectada se procede a realizar una evaluación e informe final de diagnóstico para la escogencia de la técnica de reforzamiento más adecuada. Al llegar a omitir alguno de estos pasos, fácilmente se puede incurrir en decisiones erróneas desde el punto de vista económico o ingenieril al aplicar precipitadamente un método de reparación o reforzamiento sin haber realizado el análisis técnico requerido en busca de la causa del problema, se puede realizar un reforzamiento costoso e innecesario donde finalmente sólo se requiera por ejemplo el sellado de una grieta o fisura; o en el caso contrario se subestime el problema y sin el análisis detallado de las condiciones estructurales de la edificación sólo se aplique un sello de fisuras sin haber determinado que la falla es estructural y la solución es una repotenciación con alguno de los otros métodos existentes. Omitir algún paso o la totalidad de su estudio puede llegar a ser una grave decisión que no sólo acarreará sobrecostos y cambios estéticos en la edificación; si no que persistirán los problemas estructurales de fondo poniendo en peligro la seguridad de sus ocupantes.

- Generalmente, los sistemas de reforzamiento en estructuras van muy ligados al costo, pues al ser procedimientos en los cuales se requiere de procesos complejos y de mucho rigor, también se necesita de personal calificado y capacitado para tal fin. Es sabido que estos costos son muy elevados si se comparan con los procesos de construcción convencionales; debido a esto se debe realizar un análisis muy exhaustivo en la elección del sistema de reforzamiento, y estudiar muy bien si el proyecto en realidad amerita una inversión de esa magnitud, o por el contrario, sea mejor demoler y construir una nueva estructura.

- La etapa más relevante y crucial durante el proceso de un proyecto de reforzamiento e intervención estructural, es la buena planificación, evaluación y selección de alternativas, de ahí depende en un 80 u 85% el éxito del proyecto de reparación o desde la opinión personal de los autores. Si esta etapa no se hace con el mayor rigor posible, no se obtendrían los resultados esperados.
- A la hora de realizar proyectos de reparación en edificaciones, se debe tener en cuenta los requerimientos del propietario, aunque en la mayoría de los casos (90% aproximadamente por experiencia de los autores), este ignora por completo los temas constructivos, y puede sugerir estructuras sobre reforzadas donde los procesos de ejecución pueden triplicarse respecto a costos y de esta manera incurrir en gastos innecesarios; o por el contrario, no contrata el personal idóneo para este tipo de trabajos por evitar algunos costos, he incurrir en el error de disminuir considerablemente la seguridad de la estructura. Por esto, es importante asesorarse debidamente con profesionales idóneos. Otros aspectos importantes son las condiciones de servicio, aplicación y propiedades del material; y una adecuada evaluación preliminar, siempre concluirá en la escogencia de la mejor intervención.
- Al reparar una fisura debe garantizarse que ésta se encuentre limpia y seca. Además, el producto que se use debe instalarse de acuerdo con las condiciones externas adecuadas de servicio y recomendaciones del proveedor para lograr el desempeño deseado; garantizando así una buena fusión entre comportamiento y adherencia, pues se ha demostrado que si estos procesos no se ejecutan de manera correcta, se pueden presentar reacciones químicas y/o efectos adversos como corrosión en el acero, descascaramiento y otras que pueden generar sensaciones de temor y de inconformidad entre las personas que ocupen la edificación.
- De acuerdo con la revisión de literatura, se encontró que con las técnicas de reforzamiento, la resistencia y la ductilidad de los elementos estructurales se puede mejorar notablemente; independientemente de la técnica a utilizar, todas tienen el mismo objetivo, y es mejorar la respuesta y el desempeño de la estructura ante un evento que genere fuerzas laterales de magnitud considerable, como es el caso de un sismo o los efectos del viento, ya sea porque

estos hayan provocado daños en los componentes, o porque la estructura sea demasiado flexible y provoque sensaciones nocivas para quienes la habitan, como es el caso de edificios altos donde se presentan efectos de balanceo debidos al viento; por ejemplo, con las técnicas de encamisado en concreto, al aumentar las secciones de los elementos intervenidos, estos aumentan su rigidez y disminuyen los desplazamientos; si se emplean disipadores, estos ayudan a que los elementos existentes absorban menos energía que la que absorbían antes de la intervención, incluso hay casos en los que los disipadores absorben la energía inducida por el efecto de las fuerzas laterales y liberan por completo los elementos existentes, haciendo que estos solo trabajen ante cargas gravitacionales.

- El reforzamiento de estructuras con disipadores de energía, presenta grandes ventajas debido a que genera menores daños a la edificación debido al gran porcentaje de energía que absorben a la hora de un evento sísmico (Carranza J; et. al (2015)).
- Las estructuras reforzadas con disipadores de energía mejoran considerablemente su desempeño frente a un sismo severo, ya que las derivas de piso disminuyen hasta en un 70% (Carranza J; et. al (2015)), si se compara con un sistema aporticado.
- El uso de disipadores de fluido viscoso, aumentan el amortiguamiento del edificio y por ende reducen los desplazamientos y los daños. Este amortiguamiento debe darse entre un 20 y un 40%; si el amortiguamiento es menor al 20%, es un gasto innecesario, y si es mayor del 40%, tampoco es recomendable utilizarlos, pues se necesitaría una cantidad considerable y obviamente se aumentan los costos de la intervención, lo que la convierte en una alternativa inviable económicamente, (Sánchez, J; et. al, (S. F.)).

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

ACI 364.1R-07 Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation.

ACI 562-19 Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures.

AIS. (2010). Reglamento de Diseño y Construcción Sismoresistente NSR-10 (Ley 400-1997), Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Bogotá, Colombia.

Brochure Fisuras en el concreto reforzado, SIKA, julio 2014

Calderón, E. (2008) Estudio experimental de la fisuración en piezas de hormigón armado sometidas a flexión pura. Tesis de doctorado en Ingeniería Civil. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Civil: Construcción. Madrid.

Carranza, J; Calderón, S; Miguel, E. (2015). Reforzamiento de una estructura aporticada con disipadores de fluido viscoso para un mercado en la ciudad de Trujillo, Tesis ingeniero Civil. Trujillo, Perú.

García R. (2018). Evaluación y reparación de fisuras en estructuras de concreto armado mediante el comité ACI 224 en el Distrito de Vicco – Pasco, Tesis de grado, Perú.

Keane B. (S.F.), Guía práctica de procedimientos de aplicación para reparaciones de concreto, Reparación de Grietas Estructurales por Inyección de Resinas Epóxicas, Boletín 1 de RAP del ACI.

Montani R., (S.F.), Guía práctica de procedimientos de aplicación para reparaciones de concreto, Reparación de Grietas Inyectando Resinas Por Medio de Gravedad, Boletín 2 de RAP del ACI.



Ospina E. López J. (2019), Efectividad de las técnicas de revestimiento más comunes para el reforzamiento de columnas de concreto reforzado, Tesis de grado especialización, Medellín.

Raigosa, E. (2010). Técnicas de Reforzamiento de Estructuras construidas en concreto que presentan deficiencias Estructurales. Escuela de Ingeniería de la Construcción. Instituto tecnológico de Costa Rica.

Raza, S., Khan, M. K., Menegon, S. J., Tsang, H. H., & Wilson, J. L. (2019). Strengthening and Repair of Reinforced Concrete Columns by Jacketing: State of-the-Art Review.

Rendón J., (2016), Reforzamiento y Actualización Sísmica de Estructuras, SIKA, Colombia.

Sánchez J., Quintero P., (S.F.) Análisis de sistemas para la disipación de energías ejercidas por fuerzas dinámicas, tesis Ingeniero Civil. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.

Sika. (2017). Reforzamiento de Estructuras de Concreto, técnicas y materiales. Sika Colombia.

Sotomayor C., (2020), Entendiendo a las fisuras y grietas en las estructuras de concreto Artículo técnico N°6, Perú.

Wu, Y. F., Liu, T., & Oehlers, D. J. (2006). Fundamental principles that govern retrofitting of reinforced concrete columns by steel and FRP jacketing. *Advances in Structural Engineering*, 9(4), 507-533.