

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(110)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	LIBARDO AUGUSTO TRIGOS RAMIREZ MILTON ALFONSO PEREZ CONTRERAS		
FACULTAD	DE INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	ESPECIALIZACIÓN EN INTERVENTORIA DE OBRA CIVILES		
DIRECTOR	MILTON MENA SERNA		
TÍTULO DE LA TESIS	GUÍA PARA LA SUPERVISIÓN TÉCNICA DE PROYECTOS DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DEL RECRECIDO		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EN EL PRESENTE DOCUMENTO, SE ESBOZA LA INVESTIGACIÓN REALIZADA CON EL FIN DE ESTRUCTURAR LA GUÍA TÉCNICA PARA LA SUPERVISIÓN DE PROYECTOS DE REHABILITACION ESTRUCTURAL POR EL METODO DEL RECRECIDO, EN DONDE BASICAMENTE SE BASA EN LA IDENTIFICACION VISUAL DE LOS TIPOS DE FALLA QUE SE PRESENTAN EN LAS ESTRUCTURAS, COMO TAMBIEN LOS PASOS A SEGUIR PARA SU REHABILITACION, TENIENDO EN CUENTA EL RESPECTIVO PROCESO CONSTRUCTIVO Y LAS DISTINTAS METODOLOGIAS PARA LLEVAR A CABO EL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 93	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 22	CD-ROM: 1



GUÍA PARA LA SUPERVISIÓN TÉCNICA DE PROYECTOS DE REHABILITACIÓN
ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DEL RECRECIDO

AUTORES:

LIBARDO AUGUSTO TRIGOS RAMIREZ

MILTON ALFONSO PEREZ CONTRERAS

Anteproyecto del trabajo de grado para Optar el Título Especialista en Interventoría de Obra
Civil.

Director:

MILTON MENA SERNA

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

ESPECIALIZACIÓN EN INTERVENTORIA DE OBRA CIVILES

Índice

Capítulo 1. Guía para la supervisión técnica de proyectos de rehabilitación estructural por el método del recrecido.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Objetivos de investigación.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivo específicos.....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Delimitaciones.....	5
1.5.1 Delimitación operativa.....	5
1.5.2 Delimitación conceptual.....	7
1.5.3 Delimitación geográfica.....	7
1.5.4 Delimitación temporal.....	7
Capítulo 2. Marco referencial.....	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2. Marco histórico.....	10
2.3. Marco conceptual.....	12
2.3.1 Columna.....	12
2.3.2 Concreto.....	12
2.3.3 Diagnóstico.....	13
2.3.4 Encamisado.....	13
2.3.5 Fallas estructurales.....	13
2.3.6 Patología estructural.....	13
2.3.7 Tipos de refuerzos estructurales.....	14

2.3.8 Supervisión técnica.....	16
2.3.9 Pórtico.....	16
2.4 Marco teórico	16
2.5 Marco legal.....	20
Capítulo 3. Diseño metodológico	24
3.1 Tipo de investigación	24
3.2. Población.....	24
3.3. Muestra.....	24
3.4. Recolección de información.....	25
3.4.1 Técnicas de recolección de información.	25
3.4.2 Instrumentos para la recolección de información.....	25
3.5. Análisis y procesamiento de la información	26
Capítulo 4. Resultados de la investigación.....	28
4.1 Detallar los procesos que conforman las metodologías del reforzamiento de columnas, vigas y losas macizas, mediante la documentación de información para el método del recrecido.	28
4.1.1 Metodologías para el reforzamiento de columnas.	29
4.1.2 Metodologías para el reforzamiento de vigas.....	39
4.1.3 Metodologías para el reforzamiento de Losas.....	45
4.2 Determinar el procedimiento de cálculo para el reforzamiento estructural de columnas, vigas y losas macizas mediante el método de recrecido.	52
4.2.1 Metodología de cálculo de recrecidos en columnas de concreto.	52
4.2.2 Metodología de cálculo de recrecidos en vigas y losas macizas de concreto.	63
4.3 Identificar los controles técnicos requeridos para el reforzamiento estructural por el método del recrecido de acuerdo a especificaciones técnicas y lineamientos estipulados por norma.	73

4.3.1 Controles técnicos necesarios para el reforzamiento de columnas, vigas y lozas, en concreto reforzado	73
Conclusiones	79
Recomendaciones	80
Referencias	81

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1	49
Tabla 2	57
Tabla 3	58
Tabla 4	60
Tabla 5	60
Tabla 6	63
Tabla 7	76
Tabla 8	77
Tabla 9	77
Tabla 10	78

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. A) Zuncho de un pilar; B) Refuerzo de hormigón en viga que se puede incorporar armadura. Fuente: Rincón Puigvert J. (2014).	14
Figura 2. Detalle refuerzo mediante encamisado metálico. Fuente: Rincón Puigvert J. (2014)...	14
Figura 3. Detalle de refuerzo de pilar mediante angulares. Fuente: (Casas Rius, 2012).	15
Figura 4. Recuperación y refuerzo de una viga dañada. Fuente: (Casas Rius, 2012).	15
Figura 5. Recrecido en concreto reforzado. Fuente: SIKA, 2017	30
Figura 6. Recrecido con malla de concreto. Fuente Sika,2017	36
Figura 7. Enchaquetado por empresillado metálico. Fuente: SIKA, 2017	37
Figura 8. Reforzamiento en columnas por medio de materiales compuestos.	39
Figura 9. Recrecido con concreto reforzado en vigas. Fuente: SIKA, 2017.	40
Figura 10. Reforzamiento con adición de perfiles de acero. Fuente SIKA, 2017	41
Figura 11. Enchaquetado en vigas con láminas metálicas Fuente: izquierdo J, 2015	42
Figura 12. Reforzamiento con láminas en viga y losa Fuente: izquierdo J, 2015	43
Figura 13. Recrecido en losas por aumento de sección Fuente: SIKA, 2017	46
Figura 14. Escarificación de recubrimiento de una losa Fuente: e- Struc.com.....	47
Figura 15. Geometría de la columna a reforzar	56
Figura 16. Sección de refuerzo de una columna rectangular con concreto reforzado.	58
Figura 17. Columna rectangular recrecido con microhormigón. Alonso Izquierdo, J. (2015).....	59
Figura 18. Sección de refuerzo de una columna circular con concreto reforzado	61

Figura 19. Código español EHE-08. Fuente: Alonso Izquierdo, J. (2015)	62
Figura 20. Sección de la viga y dimensiones para el cálculo.....	67
Figura 21. Sección de la viga con aumento de canto .kenalieva, v. S. (2011).....	68
Figura 22. Sección de la viga con recrecido de hormigón armado.....	70

Capítulo 1. Guía para la supervisión técnica de proyectos de rehabilitación estructural por el método del recrecido.

1.1 Planteamiento del problema.

Partiendo del concepto de supervisión técnica que nos da el Reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente definiéndola como la verificación de la sujeción de la construcción de la estructura de la edificación a los planos, diseños y especificaciones realizadas por el diseñador estructural. Así mismo, que los elementos no estructurales se construyan siguiendo los planos, diseños y especificaciones realizadas por el diseñador de los elementos no estructurales, de acuerdo con el grado de desempeño sísmico requerido. (Norma sismo resistente [NSR-10], 2012)

Hoy en día, son frecuentes las situaciones en que resulta necesaria la intervención sobre estructuras ya construidas a fin de verificar, mantener, restituir y/o mejorar su capacidad resistente a lo largo de un determinado periodo de tiempo (generalmente coincidente con la vida útil), lo que conlleva a un estudio detallado de su comportamiento y construcción, a efectos de determinar la mejor opción de rehabilitación de acuerdo al uso a considerar.

Como lo expresa, Garzón J. y Landin M. (2017), nos dicen que: “no existe acuerdos que permitan la normalización de la revitalización de estructuras”. Por otra parte, según la investigación realizada por Paulo H. y Pereira F. (2005), nos cuenta que: “No se conoce el material adecuado, ni los mejores procedimientos; tampoco hay documentos normativos en

cantidad y calidad suficientes para ayudar a los responsables por las tareas de mantenimiento y rehabilitación”. Además la falta de información de las estructuras ya construidas no permite llegar a resultados concluyentes, lo que introduce un grado de incertidumbre inherente a las mismas. La incertidumbre crece ante problemas patológicos, en los que resulta fundamental el diagnóstico realizado por profesionales de la ingeniería, los cuales se ven limitados a falta de herramientas para cuantificar y/o controlar los procesos constructivos de esta índole.

Dicho lo anterior, ante la ejecución de proyectos de restauración estructural, se ha optado por tomar decisiones subjetivas para poder sacar a flote este tipo de proyectos, despreciando los sobrecostos, desperdicios de materiales, limitaciones arquitectónicas y hasta defectos estructurales; por tal motivo, es importante generar más herramienta para poder llevar a cabo la supervisión contando con los criterios y parámetros suficientes que garanticen el óptimo desarrollo de las actividades realizadas en proyectos de reforzamiento estructural.

1.2 Formulación del problema.

¿Con la elaboración de una guía se mejoraran los procesos de supervisión técnica a proyectos de rehabilitación estructural por el método recrecido?

1.3 Objetivos de investigación.

1.3.1 Objetivo general. Elaborar un guía para la supervisión técnica a proyectos de rehabilitación estructural por el método de recrecido.

1.3.2 Objetivo específicos. Detallar los procesos que conforman la metodología del reforzamiento de columnas, vigas y losas macizas, mediante la documentación de información para el método del recrecido.

Determinar el procedimiento de cálculo para el reforzamiento estructural de columnas, vigas y losas macizas mediante el método de recrecido.

Identificar los controles técnicos requeridos para el reforzamiento estructural por el método del recrecido de acuerdo a especificaciones técnicas y lineamientos estipulados por norma.

Estructurar una guía que sirva de apoyo para la supervisión técnica en el reforzamiento estructural por el método del recrecido.

1.4 Justificación.

La presente propuesta de investigación, se encuentra enfocada en la supervisión técnica de edificaciones verticales construidas en concreto reforzado que sean objetivo de reparación, reforzamiento y/o rehabilitación, porque han requerido cambio de uso o por deficiencias en su diseño estructural, ya que según la norma sismo resistente, cuando se modifique la capacidad de una estructura existente, es necesario realizar un reforzamiento para cumplir con los parámetros establecidos por la norma NSR-10.

En general, cuando se habla de reforzamiento estructural de edificaciones verticales existentes, se hace referencia al reforzamiento de vigas y columnas, cuando no cuentan con la

capacidad suficiente para soportar las cargas que se apliquen, pues según Ayala J. y Girardo M. (2018), nos dice que: “Para lograr dotar estas estructuras con esta nueva capacidad mecánica es necesaria la intervención de un ingeniero, el cual tenga las herramientas suficientes para cubrir las nuevas necesidades estructurales”. En lo concerniente a lo anterior, cualquier intervención que pretenda ser eficaz, debe partir de una fase previa de auscultación, estudio y diagnóstico de las causas que han provocado el deterioro o el problema que se pretende solucionar. Más allá de la constatación de las patologías presentes en la estructura (síntomas), es fundamental una correcta identificación de las causas que han dado origen al problema. (Rodríguez García F., s.f.)

El objeto de esta investigación, juega un papel importante especialmente para aquellos recintos de uso público o institucional, que requieren de adecuaciones para ampliar sus funciones, como lo es el caso de los hospitales, en donde según el artículo 54 de la Ley 715 de 2001, enmarca que las instituciones prestadoras de servicios de salud, están en la obligación de cumplir con las normas de construcción sismo resistentes con el fin de reducir y mitigar los riesgos en aquellas zonas vulnerables a los sismos.

En lo que concierne al ámbito local, en el municipio de Ocaña se tiene referencia del reforzamiento estructural realizado a la Sede de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, ubicada en la Avenida Francisco Fernández de Contreras, en donde según un artículo de la revista Ingenio, publicado por el MSc. en análisis estructural García Afanador N. (Diciembre 13 de 2012), concluye que:

El concreto genera sobre las edificaciones construidas antes de 1998 un aumento en su deformación de tal forma que no se ajusta a los requerimientos actuales de una deriva máxima permitida menor al 1%, pues la deriva máxima encontrada es de 18.52%, esto obligará a la edificación a ser reforzada a fin de cumplir lo dispuesto en la NSR-10. Esta patología puede

generar excesos de fuerzas a cortante donde se presenta la discontinuidad de muro cuando ocurran sismos. Adicionalmente se encontró oxidación en la unión de columnas y zapatas en el 49% de las columnas auscultadas, cultivos biológicos y eflorescencias en la parte superior de la losa de cubierta y en la inferior respectivamente.

Como se pudo apreciar en la referencia anterior, para llevar a cabo un reforzamiento estructural se debe conocer a profundidad las causas y los análisis necesarios para determinar las patologías pertinentes que repercutan en la solución más apropiada, por lo que llevar a cabo la supervisión técnica en la ejecución de este tipo de proyectos, para la mayoría de profesionales, resulta útil el conocimiento de una guía que brinde los criterios fundamentales que se deben tener en cuenta para a la hora de realizar los procesos constructivos.

Con la elaboración de esta guía se facilitará el control eficiente que se debe tener en la supervisión técnica, para evitar tener imprevistos, ahorrar tiempo y confiabilidad, ofreciendo una herramienta innovadora que permita minimizar y optimizar el trabajo de supervisión en proyectos de rehabilitación estructural para edificaciones verticales posteriormente construidas.

1.5 Delimitaciones.

1.5.1 Delimitación operativa. La elaboración de este documento guía, radica en proporcionar una herramienta que facilite el trabajo de forma organizada y eficiente para los ingenieros y arquitectos en la supervisión técnica a proyectos de rehabilitación estructural construidos en concretos reforzado por el método del recrecido, para lo cual se realizara una investigación mediante un estado del arte para conocer los distintos factores que pueden influir y ser de gran importancia en el desarrollo de la guía.

Para esto se detallaran los procesos y procedimientos que integran la metodología del reforzamiento de columnas, vigas y losas macizas por el método del recrecido identificando los controles técnicos requeridos.

Es importante aclarar que para la realización de esta guía, no se tendrá en cuenta la ley 1796 de 2016, ya que solo establece el reforzamiento estructural para cumplir con la norma sismo resistente, en aquellas edificaciones de uso público e institucional, específicamente para el caso de hospitales que debido a la ampliación de su capacidad operativa se ven obligados a adecuar su infraestructura para cumplir con los requisitos legales de la norma sismo resistente, de igual forma también se presenta el mismo caso para instituciones educativas, como colegio y universidades.

En lo que concierne a la normatividad del American Concrete Institute ACI, solo se tendrá en cuenta los conceptos de diseños relevantes para la investigación, específicamente, la norma ACI 352-13, la cual aporta criterios generales para todo tipo de reforzamiento estructural, por otra parte dado al principio de la investigación que corresponde al reforzamiento estructural por el método del recrecido, dentro del compendio de la norma ACI, solo se pudo hacer referencia de la ACI 440, la cual habla del reforzamiento estructural con fibras; por consiguiente, si se empleara la norma ACI 562-16, ya que es la norma para la evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras existentes de concreto convencionales y no convencionales, es decir que no se especifica únicamente para estructuras de usos institucionales.

1.5.2 Delimitación conceptual. Para la elaboración de este proyecto de grado que tiene como objeto la elaboración de una guía para la supervisión técnica de proyectos de rehabilitación estructural por el método del recrecido, se basa en los siguientes conceptos:

Columna, concreto, diagnostico visual, edificaciones verticales, encamisado, especificaciones técnicas, fallas estructurales, losas, mantenimiento, patología estructural, pórtico, recrecido, refuerzo, rehabilitación o reforzamiento estructural, supervisión técnica, entre otros.

1.5.3 Delimitación geográfica. En lo que concierne a la delimitación geográfica para la elaboración de la guía, se tiene como principal centro de acción a los profesionales del municipio de Ocaña, Norte de Santander, especialmente a los especialistas en interventoría de obras civiles de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, de igual forma cabe mencionar que debido a que se ajusta a la normatividad nacional, la guía puede ser usada en todo el territorio colombiano.

1.5.4 Delimitación temporal. El presente proyecto se encaminará en la recopilación de información de índole científico, en un lapso de dos (2) meses, ya que se cuenta con parte de la investigación adelantada y en ese lapso de tiempo se estima indagar y analizar diversas fuentes de información y documentos especializados en el tema, para estructurar la guía de supervisión técnica en reforzamiento estructural por el método de recrecido.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Antecedentes.

En lo que concierne al ámbito internacional, es de mencionar el estudio de tesis de maestría, de la Universidad Politécnica de Catalunya, titulada: Estudio experimental del comportamiento resistente y en servicio de encepados de pilotes reforzados mediante recrecido de hormigón armado, en donde su autor Rincón Puigvert J.A., (2014), nos dice que:

La inclusión de armadura secundaria no aporta, en general, un aumento de significativo de la capacidad de carga de los elementos, representando, en las piezas ensayadas, un aumento de la carga de 3%. Sin embargo, su presencia incide notablemente en la ductilidad del elemento, alcanzándose desplazamientos de rotura mayores cuando ésta presente. El elemento con recrecido de canto (RC) no pudo llevarse a la rotura por rotura del pilar superior y agotamiento de la capacidad del sistema de carga, habiendo resistido más de una 140% con respecto al encepado de referencia. Sin embargo, sí se alcanzó la plastificación del tirante principal a un nivel de carga del orden de 1900 kN.

Otra referencia que vale la pena mencionar y la cual presenta mucha utilidad para el desarrollo de la presente propuesta investigativa, corresponde al trabajo de tesis de pregrado realizado en la Universidad de Carabobo, titulado: Propuesta metodológica constructiva de rehabilitación estructural de edificios aporticados de concreto armado, en donde los autores García J. y Chirico G. (2012), tienen como objetivo fundamental la propuesta de una metodología constructiva de rehabilitación de estructuras aporticados de concreto armado existentes que permita a profesionales de la ingeniería tener una guía de cómo se construyen las técnicas seleccionadas para tal fin. De la investigación concluyen que:

Es muy importante asegurar una buena transmisión de esfuerzos, especialmente en las columnas, en estos elementos es indispensable buscar un confinamiento de la sección envuelta en el refuerzo, ya sea de acero o de concreto, el encamisado en las columnas debe comprimir la misma y asegurar la transferencia de los esfuerzos, así como un comportamiento monolítico del elemento original junto con el refuerzo, se debe también tomar en cuenta los recomendados capiteles para una mejor transferencia de esfuerzos en los nodos.

En Colombia no se encuentra un registro técnico documentado sobre la manera de cómo se han realizado supervisión o interventoría a las construcciones que han solicitado este tipo de recuperación estructural, aún más si se refiere al método de encamisado utilizando concreto armado, pero de igual forma se cuenta con investigaciones como la monografía de pregrado para optar el título de ingeniero civil, de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, titulada: Estudio del método de recrecido en concreto armado para el refuerzo de vigas y columnas de una edificación, en donde según los autores Ayala J. y Girardo M. (2018), nos dicen que:

En Colombia, a principios de los años 80, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), publicó la primera norma sísmica la cual no era de carácter obligatorio denominada, Requisitos sísmicos para Edificios AIS-1000-81, como consecuencia del sismo de Popayán ocurrido en el año 1983, se da origen al Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes mediante el decreto 1400 de 1984, sin que dentro de su alcance fueran tenidas en cuenta las edificaciones construidas con antelación; en 1997 se establece la Ley 400, la cual dispone una actualización de edificaciones existentes cuyo uso las clasifique como edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, así mismo en la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (1998) y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (2010), se tiene en cuenta la evaluación e intervención de edificaciones construidas previas a su vigencia.

Los reforzamientos estructurales dan solución a la falta de capacidad resistente que pueden presentar las estructuras y permiten cumplir con el objeto del Reglamento NSR10 sobre reducir a un mínimo el riesgo de pérdida de vidas humanas y defender el patrimonio del estado y de los ciudadanos. Con base en el presente documento es posible concluir:

Mediante la investigación, estudio y análisis de la estructura, se evalúan factores como la calidad y el estado de la construcción, la configuración y forma que tiene, el tipo de estructura, las cargas que soporta, las características del suelo y la fundación, la estabilidad de los componentes no estructurales y el entorno social además de los previstos en el Reglamento NSR-10 en el título A.10.5 — ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD, y así determinar previo a la intervención la relación entre capacidad y demanda con la que cuenta la

edificación para responder de forma óptima a los requerimientos reales, es decir, que luego de este estudio denominado análisis de vulnerabilidad se establece que tipo de reforzamiento estructural es el adecuado para cumplir con el objeto del presente Reglamento.

En el ámbito regional y local, cabe mencionar la investigación realizada por el MSc. en análisis estructural García Afanador N. (Diciembre 13 de 2012), en donde resume su investigación en el análisis de la estructura existente correspondiente a la Sede la Primavera de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, ya que debido a la ampliación del personal estudiantil fue necesario la remodelación de la infraestructura para que soportara las cargas de acuerdo a la vulnerabilidad sísmica de la región, en donde se ejecutó el recrecido de las columnas principales de la primer planta que soportan las losas macizas del segundo y tercer piso.

2.2. Marco histórico.

Las referencias que se tienen de la historia de la construcción son pocas, apenas proporcionan una información elemental de algunas características físicas de los lugares y construcciones. Los primeros lugares según rastros existentes obedecen a los factores naturales y culturales que produjeron cierta autenticidad en el tipo y localización de los sitios habitados.

Mientras estos se esparcían asumieron múltiples formas como: cuevas, cobertizos, tronco de árboles y ramaje siendo estos los primeros albergues que el hombre pudo fabricar con sus propias manos y que poco a poco el hombre fue modificando y adaptando de acuerdo a sus necesidades.

De todas las poblaciones que se pueden reconocer en la historia, alcanzando un grado de civilización por sus monumentos arquitectónicos y que han llegado a la posteridad es Egipto ya que aún se conserva gran cantidad de monumentos. En la historia de la construcción han sido muchos los aportes de las civilizaciones antiguas. Después de la caída del Imperio Romano, en la Edad Media, fueron pocos los progresos en ingeniería, haciendo cambió en el renacimiento, donde se puede decir que surgió una "nueva ciencia". (OVACEN, 2016)

Después de cristo los normandos en gran Bretaña diseñaron y construyeron la primera mezcladora de concreto (700 D.C). Usaban caliza como agregado y cal calcinada como aglutinante. (Montejo Fonseca, A., 2013)

En el año 1800 se puede hablar del nacimiento de la ingeniería moderna, y en los últimos cien años se han presentado avances muy importantes como el desarrollo del concreto como material de construcción empezó poco después de la obtención de la patente del cemento Porthand por parte de Joseph Aspdin (1824) y posteriormente se finalizó con la invención del concreto armado atribuido al jardinero parisiense Jack Monier. Para el siglo XX el uso de la relación de agua/cemento y el aumento de la durabilidad con la inclusión del aire, marcaron dos significativos avances en la tecnología del concreto, con base en ello se expandió su investigación. El empleo del concreto armado inicia en 1906. (Graciani García, A., 2000)

Este documento está centrado en la investigación para la elaboración de una guía que brinde las herramientas suficientes para la supervisión técnica en la rehabilitación estructural de edificaciones verticales, especialmente en aquellas de uso público e institucional, ya que ha sido en los últimos años donde se ha dado la importancia que realmente se merece, reconociéndose

profesionalmente en los ámbitos de la ingeniería, para enfrentar el crecimiento desmesurado de la población que obliga a los distintos recintos de usos públicos a sufrir adecuaciones para soportar las cargas y esfuerzos que no fueron contempladas en el diseño inicial de la estructura.

2.3. Marco conceptual.

A continuación se describen los conceptos más utilizados dentro del ámbito de la rehabilitación estructural mediante el método de recrecido.

2.3.1 Columna. Es un elemento axial sometido a compresión, lo bastante delgado respecto a su longitud, para que bajo la acción de una carga gradualmente creciente se rompa por flexión lateral o pandeo ante una carga mucho menos que la necesaria para romperlo por aplastamiento. (Mora & Garay, 2016)

2.3.2 Concreto. Según Cantillo Y. (2013), nos dice que: el concreto es un material rígido utilizado en la construcción, formado por la combinación de un material de tipo ligantes y otros de tipo llenante, que se mezclan con agua en una proporción adecuada y bajo condiciones controladas. El materiales ligantes generalmente es el cemento y el material llenante son áridos como la arena y la grava; teniendo características, físicas y químicas compatibles entre estos dos materiales. El cemento al interactuar con agua forma una masa solida uniendo las partículas de los agregados con propiedades de manejabilidad que al pasar por un proceso de fraguado se endurece y forma una masa compacta con capacidad de resistencia.

2.3.3 Diagnóstico. Consiste en analizar el estado actual de la estructura, previa inspección, toma de datos y estudios de los mismos. En general incluye la evaluación de la capacidad residual así como las necesidades de actuación y su urgencia. En caso de existencia de daños, debe determinar la naturaleza, alcance, y causa más probable de los mismos. (Del Rio Bueno A., 2008)

2.3.4 Encamisado. Es el refuerzo consistente en aumentar la sección de elementos de hormigón armado (generalmente pilares y vigas) con el fin de poder soportar cargas superiores a las previstas en el proyecto original. (Sika, 2017).

2.3.5 Fallas estructurales. Según Godoy L. (2005), nos dice que la falla es una condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe. Una falla no necesariamente produce colapso o catástrofe, por consiguiente define:

2.3.5.1 Mecanismo de falla. Es el proceso o secuencia que ocurre en el elemento estructural cuando falla.

2.3.5.2 Modo de falla. Es la configuración (geométrica) que adopta el elemento estructural cuando falla.

2.3.5.3 Parámetro crítico. Es un indicador asociado a la falla. Se usan indicadores, como tensión, deformación, desplazamiento, carga, número de ciclos de carga, energía, etc. Ejemplo: carga crítica de pandeo, número de ciclos de fatiga.

2.3.6 Patología estructural. El estudio de las lesiones o problemas que se presentan o en edificio y que determinan la carencia de algunas de sus condiciones básicas de funcionamiento, o sea las relativas o funcionalidades, seguridad o habitabilidad. (López, Rodríguez, Cruz, Torreño, y Ubeda, 2004).

2.3.7 Tipos de refuerzos estructurales. Los tipos de refuerzos estructurales, se resumen según Rincón Puigvert J. (2014), el cual los define en los siguientes:

2.3.7.1 Refuerzos mediante recredido de Hormigón. Los refuerzos mediante el uso de morteros u hormigones son normalmente la opción más viable debido a su bajo coste respecto a los otros sistemas de refuerzos. Básicamente, el procedimiento es seleccionar un elemento estructural (viga, columna, forjado, etc) y recrearlo envolviéndolo con una sección adicional de hormigón convenientemente armado, a esto se le llama zunchados o encamisados como se muestra en la siguiente Figura 1.

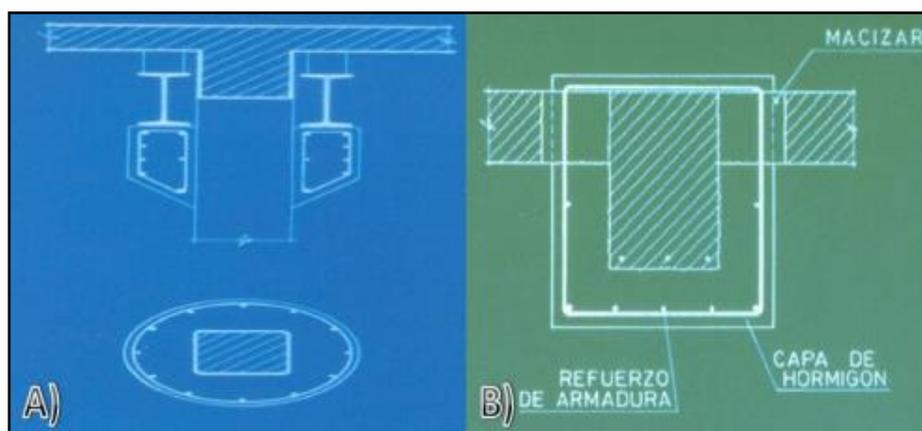


Figura 1. A) Zuncho de un pilar; B) Refuerzo de hormigón en viga que se puede incorporar armadura. Fuente: Rincón Puigvert J. (2014).

2.3.7.2 Refuerzo mediante encamisado metálico. El refuerzo mediante encamisado consta básicamente del uso de chapas metálicas o perfiles. Las chapas metálicas se adhieren a la estructura existente y los perfiles metálicos son unidos a los nudos de la estructura, convirtiendo la sección en un elemento mixto. Ver Figura 2



Figura 2. Detalle refuerzo mediante encamisado metálico. Fuente: Rincón Puigvert J. (2014).

2.3.7.3 Refuerzo mediante materiales compuestos. Los materiales compuestos están formados por fibras que aportan rigidez. Resistencia, así como una matriz flexible y poco resistente que envuelve y protege las fibras, al tiempo que transmite los esfuerzos entre unas fibras y otras a su superficie. (Casas Rius, 2012) Las fibras empleadas pueden ser de carbono, vidrio, cerámica, metal, poliéster, etc. En el ámbito de la construcción, los materiales compuestos más utilizados son las fibras de carbono con matrices orgánicas (generalmente resinas epoxica). En la siguiente Figura 3, se muestra la aplicación de fibras de carbono en columnas.

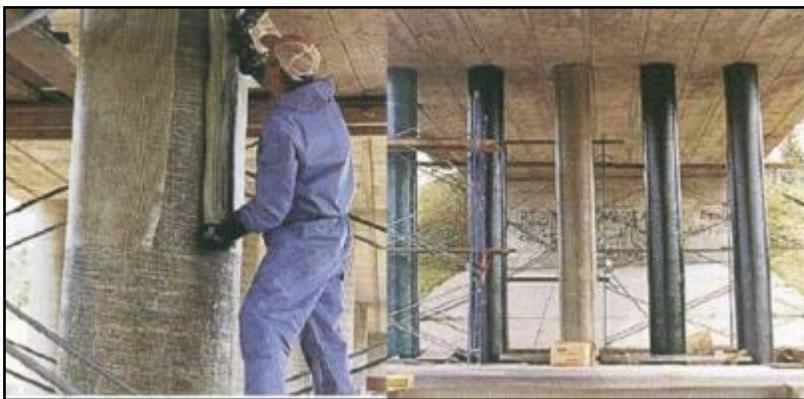


Figura 3. Detalle de refuerzo de pilar mediante angulares. Fuente: (Casas Rius, 2012).

2.3.7.4 Refuerzo mediante post-tensado exterior. Al momento del hablar del post-tensado se debe acreditar al creador de este sistema, Eugene Freyssinet. Según Freyssinet pretensar una construcción es someterla a fuerzas cuya composición con las cargas resultantes proporcionen resultados de tensiones inferiores a la soportadas por el material. (Fernandez Ordoñez).

Esta técnica tiene grandes ventajas, ya que ayuda a eliminar las deformaciones obtenidas por la estructura, sin necesidad de descargarla. En la siguiente Figura 4, se muestra el uso de este sistema.

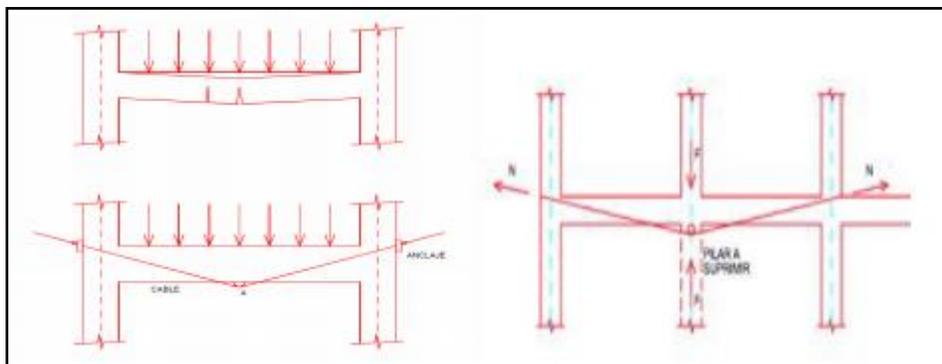


Figura 4. Recuperación y refuerzo de una viga dañada. Fuente: (Casas Rius, 2012).

2.3.8 Supervisión técnica. Es la verificación de la sujeción de la construcción de la estructura de la edificación a los planos, diseños y especificaciones realizadas por el diseñador estructural. Así mismo, que los elementos no estructurales se construyan siguiendo los planos, diseños y especificaciones realizadas por el diseñador de los elementos no estructurales, de acuerdo con el grado del desempeño sísmico requerido. (NSR-10, 2012)

2.3.9 Pórtico. Es un conjunto de vigas, columnas y, en algunos casos, diagonales, todos ellos interconectados entre sí por medio de conexiones o nudos que pueden ser, o no, capaces de transmitir momentos flectores de un elemento a otro. (NSR-10, 2012)

2.4 Marco teórico.

El presente documento presentara los requerimientos constructivos que deben confrontar el supervisor técnico, tales como: los controles sobre materiales, control de ensayos y control de ejecución de obra a los que hace referencia la (NSR-10, 2012, pág. 17)

Las teorías utilizadas en este documento se amplía y se interpreta con otras referencias y se hacen las diferentes recomendaciones y al final se organiza en el orden del requisito del control.

El diseño de una estructura nueva debe proporcionar a la misma una resistencia que garantice unos márgenes de seguridad suficientes a lo largo de la vida útil, incluso admitiendo ciertas pérdidas "aceptables" de resistencia en ese tiempo. Dicha resistencia debe ser desarrollada en condiciones de servicio tales que no interfieran el correcto funcionamiento y aspecto de la obra sustentada. (Del Rio Bueno, 2008)

Dentro de las intervenciones de rehabilitación posibles, las de refuerzo son sin duda las que presentan una mayor complejidad, tanto a nivel de diseño como de cálculo y ejecución. La principal razón de ello deriva del incremento de la capacidad resistente original que las caracteriza.

Consecuentemente, además de problemas constructivos, de índole semejante a algunos de los estudiados en el capítulo de reparaciones, se plantean algunas cuestiones importantes de alcance estructural:

El refuerzo de un elemento implica generalmente una alteración importante de la distribución de rigideces en la estructura, que debe ser analizado en todas sus consecuencias.

En el planteamiento y ejecución del refuerzo debe considerarse el *carácter evolutivo* de la estructura afectada, que modifica su configuración en una etapa intermedia de su vida. En una sección de un elemento reforzado coexisten materiales antiguos y nuevos, con estados esfuerzo – deformación, diferentes incluso en fibras contiguas.

La operación debe resolver adecuadamente la *transferencia de esfuerzos* entre pieza original y refuerzo. De poco sirve disponer un refuerzo de gran capacidad resistente si no se garantizan los mecanismos para su entrada en carga. En consecuencia, la unión o interface entre pieza original y refuerzo (adhesivos, conectadores, juntas, etc.) debe ser especialmente considerada.

Si no se adoptan medidas especiales y no se consideran los efectos geológicos, el refuerzo sólo recogerá una fracción de las cargas que se introduzcan posteriormente a su ejecución (en función de su rigidez relativa y de los mecanismos de transferencia). Por tanto, la descarga parcial del elemento estructural afectado y su posterior entrada en carga han de ser analizados al plantear el proceso.

La introducción de esfuerzos iniciales en los elementos de refuerzo (refuerzos activos) para mejorar su entrada en carga, puede tener consecuencias importantes sobre la distribución de esfuerzos en la estructura. (Del Rio Bueno, 2008)

La consideración de algunas de las cuestiones antes señaladas, exige frecuentemente la utilización de procedimientos no convencionales de análisis, capaces de reproducir adecuadamente los aspectos diferenciales del problema. El estudio comprende diversos niveles de análisis, desde el comportamiento esfuerzo – deformación de los materiales, hasta la consideración de la (re-distribución de esfuerzos en el conjunto de la estructura reforzada, pasando por análisis de sección y pieza. (Del Rio Bueno, 2008, pág. 5)

La calidad y duración de estas reparaciones dependen de la correcta evaluación y diagnóstico del estado de dichas estructuras, las cuales deben estar basadas en una adecuada y correcta inspección. (Helene, 1997)

La existencia de indicios de deterioro, por mínimos que éstos sean, debe ser investigada a fin de establecer su naturaleza, alcance y causas. En base a esa investigación se debe definir la

capacidad resistente residual, así como la necesidad y urgencia de la intervención requerida. Al conjunto de análisis descrito se le denomina diagnóstico. De su rigor y de la validez de sus conclusiones, depende en gran medida la efectividad de la intervención que se ejecute. (Del Rio Bueno, 2008)

Para la evaluación de edificaciones existentes, la NSR 10 en lo prescrito en A.10.4, siempre y cuando se garanticen los criterios de resistencia y capacidad de funcionamiento establecidos en A.10.9, se permite alternativamente el uso de las recomendaciones que se presentan en los siguientes documentos:

- (a) “Seismic Evaluation of Existing Buildings”, ASCE/SEI 31-03, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2003.
- (b) “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, ATC-40, Vol 1, Appendices, Vol 2, Applied Technology Council, Redwood City, CA, USA, 1996.
- (c) "NEHRP Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings", FEMA 178, Federal Emergency Management Agency / Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., USA, 1992 . (NSR-10 (2012)).

En la actualidad ejercer la supervisión técnica tiene como objetivo principal velar por que las obras a construir, restaurar y/o mejorar cumplan con los requisitos de seguridad y funcionalidad estructural, según las técnicas de rehabilitación de columnas, vigas y placas en lo que respecta al método del recrecido de la sección. El aspecto económico juega un papel importante en decidir si se rehabilita una estructura dañada o no.

En las construcciones es vital mantener una constante inspección, contar con un plan de control de calidad que abarque pruebas de laboratorio tanto para los materiales puestos en sitio como para el producto final, sea este acero de refuerzo o concreto. (Abeiga Alcivar , 2016)

La supervisión técnica reconoce el cumplimiento de todas las obligaciones instauradas en las etapas previas de las edificaciones, como también el uso de materiales homologados en el sistema constructivo, que cumplan con los sistemas de calidad, seguridad y a su vez minimice los recursos y defina una economía adecuada.

La interventoría técnica comprende el control, el seguimiento y la evaluación de todos los procesos y procedimientos técnicos que son aplicados dentro de la ejecución de una obra, en donde se contemplan, además, los sistemas constructivos que deben ser implementados en ella, e igualmente, las tecnologías apropiadas que le son aplicables. (Sánchez Henao, 2010)

2.5 Marco legal.

Reglamento Sismo Resistente NSR-10. En Colombia las edificaciones que sean declaradas con vulnerabilidad sísmica o en su defecto sean objeto de modificación o cambio de uso deben cumplir los requisitos establecidos en el capítulo A.10 del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, el cual es de obligatoriedad su cumplimiento.

Los requisitos del Capítulo A.10 y en especial los de A.10.9 de la NSR-10 deben ser empleados en actualización y rehabilitación sísmica de edificaciones existentes (Reforzamiento estructural.)

Cuando se modifique el uso de una edificación, aun en los casos que menciona A.10.1.3.1, entendido el cambio de uso como una modificación de acuerdo a normas urbanísticas (de residencial a multifamiliar, de alguno de ellos a comercial, entre otros), así como cambio de uno

de los Grupos de Uso descritos en A.2.5.1 a otro superior dentro de ese numeral, deben evaluarse las implicaciones causadas por este cambio de uso, ante cargas verticales, fuerzas horizontales y especialmente ante efectos sísmicos.

Ley 400 de 1997. Se establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo, que puedan verse sometidas a fuerzas sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso, con el fin de que sean capaces de resistirlas, incrementar su resistencia a los efectos que éstas producen, reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos.

Resolución número 5381 20 de diciembre de 2013. Por el cual resuelve:

Artículo 1. Modifíquese el plazo para desarrollar las acciones de reforzamiento estructural, previsto en el párrafo 2° del artículo 54 de la ley 715 de 2001 y en el artículo 35 de la Ley 1151 de 2007, en cuatro (4) años más, contados a partir de la entrada en vigencia de la presente resolución.

Artículo 2. Las instituciones prestadoras de servicios de salud tendrán la obligación de cumplir las normas de construcciones sismo resistentes, con el fin de reducir y mitigar los riesgos, para lo cual, deberán destinar los recursos necesario para tal fin.

Artículo 3. Las instituciones prestadoras de servicios de salud clasificadas dentro de la norma de sismo resistencia como edificaciones indispensables, en los proyectos de remodelación y/o ampliación de la infraestructura, deberán presentar ante las oficinas de planeación municipal o distrital, o sus dependencias o instituciones que hagan sus veces, los documentos de reforzamiento sísmico estructural de la edificación, de conformidad con lo dispuesto en el Decreto 1469 de 2010.

Artículo 4. Las entidades territoriales de salud realizarán, en su jurisdicción, el inventario que contenga el avance de las acciones de reforzamiento estructural de que trata la Ley 400 de 1997, en las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud clasificadas dentro de dicha la norma como edificaciones indispensables.

Artículo 5. La presente resolución rige a partir de su publicación, y deroga las disposiciones que le sean contrarias.

Ley N° 1796 13 Julio 2016. Por el cual resuelve, Generar medidas enfocadas a la protección del comprador de vivienda, el incremento de la seguridad de las edificaciones, el fortalecimiento de la función pública que, ejercen los curadores urbanos y establecer otras funciones a la Superintendencia de Notariado y Registro.

Decreto 1469 de 2010. Por el cual se reglamentan las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos y se expiden otras disposiciones.

Ley 1753 de 2015. Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014- 2018 “Todos por un nuevo país”, y se estableció que en el marco de dicho programa el Ministerio “podrá modificar el plazo para las acciones de reforzamiento estructural”.

Ley 1450, Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014, Prosperidad para Todos, se establece en el **artículo 158** el Programa Nacional de Hospital Seguro frente a Desastres con el propósito de fomentar la integración de los diferentes sectores y actores responsables de su implementación, disposición que continua vigente en virtud del **artículo 267 de la Ley 1753 de 2015.**

Norma ACI 562. Nueva Norma para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto, la cual tiene como objetivo, Determinar la condición actual – buena, regular, mala; Revisión de la información disponible – Planos y especificaciones de la construcción original – Estudios acerca de las condiciones de la estructura – Proyectos pasados: reparaciones, adiciones estructurales; Evaluación de las condiciones existentes – Investigación de campo – Pruebas de laboratorio – Revisión estructural.

Encontrar la causa(s) del problema(s) • Determinar la causa o causas de las deficiencias • Establecer la extensión de las deficiencias • Establecer a que partes que no están afectadas se podrían extender las deficiencias • Evaluar el efecto de las deficiencias en la seguridad de la estructura • Identificar los elementos o lugares que requieren reparación.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación.

El tipo de investigación que se implementará es la descriptiva, puesto que permite obtener una visión general del tema y constituye una herramienta útil para obtener resultados; además se aplicará el método cualitativo ya que se basa en la obtención de datos no cuantificables, como lo es conocimiento propio de los profesionales especialistas en el tema que puedan aportar a la toma de decisiones para la realización de la guía técnica.

3.2. Población.

La población objeto de estudio en esta investigación, corresponde en mayor medida a los profesionales que se han desempeñado en el ámbito de la remodelación estructural para dar su aporte en el desarrollo del proyecto; de igual forma la elaboración de la guía está dirigida a todos aquellos profesionales de la ingeniería civil y arquitectura, interesados o relacionados con la supervisión técnica de recuperación estructural mediante el método de recrecido.

3.3. Muestra.

La muestra “es un elemento fundamental en los proyectos de investigación, debido a que permite extraer un grupo representativo del universo para aplicar el proceso de análisis de forma específica y rigurosa, cuyos resultados son aplicables al 100% de la población”. (Cantoni, 2009).

En el caso específico para efectos de este proyecto de posgrado, la muestra corresponde a los profesionales que de una manera u otra, facilitan los aportes y conocimientos necesarios a ser tenidos en cuenta para la elaboración de la guía de supervisión técnica en el reforzamiento estructural mediante el método de recrecido.

3.4. Recolección de información.

3.4.1 Técnicas de recolección de información. Dentro del proceso de la investigación, se realizara la implementación de las siguientes técnicas:

3.4.1.1 La observación. Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, se utilizara una rigurosa observación, en aquellas edificaciones que hayan sido objeto de recuperación estructural, para apreciar la durabilidad que presenta y los factores y sistemas empleados para dicha rehabilitación estructural.

3.4.1.2 La entrevista. Dentro del proceso de desarrollo del proyecto, también es necesario la aplicación de entrevistas, charlas, y opiniones propias que se realizara a profesionales expertos en la supervisión técnica de rehabilitación estructural, con el propósito de recolectar información y criterios importantes que se deben tener en cuenta al aplicar el método de recrecido como recuperación estructural, los cuales son de gran utilidad para la elaboración de la guía.

3.4.2 Instrumentos para la recolección de información. Para la recolección de información se utilizaran los siguientes instrumentos:

Reglamento colombiano de construcción Sismo Resistente (NSR-10), en todos sus títulos, en donde se especifican los parámetros para las edificaciones sismo resistente.

Normatividad, documentos, tesis, artículos, libros entre otros que permitirán fijar criterios técnicos, normativos relacionados con la supervisión técnica de rehabilitación estructural de concreto reforzado.

Diferentes referencias bibliográficas que permitan concluir el documento guía de supervisión técnica de rehabilitación estructural construida en concreto reforzado por el método del recrecido.

Secretaria de planeación del municipio de Ocaña Norte de Santander, con el propósito de conocer los proyectos que se han llevado a cabo en el municipio de Ocaña, con relación al reforzamiento o recuperación estructural mediante el método de recrecido.

3.5. Análisis y procesamiento de la información.

Para dar a conocer el análisis y procesamiento de la información, a continuación se describe en las siguientes fases:

Fase 1. Para la primera fase, se pretende recolectar toda la información pertinente al ámbito de la investigación, mediante las técnicas de recolección de información, en donde se detallan procesos, cálculos y metodologías para el reforzamiento estructural por el método de recrecido.

Fase 2. En la segunda fase, se organiza la información recolectada para diferenciar aquellas investigaciones que solo tratan el problema desde el punto de vista visual y desde el punto de vista de procedimiento de cálculo.

Fase 3. En esta fase, una vez organizada la información recopilada, se procede a establecer y determinar el procedimiento de cálculo definitivo y de manera detallada, para el reforzamiento por recrecido de columnas, vigas y losas macizas.

Fase 4. Con la información recopilada y los criterios considerados a través de entrevistas a profesionales, en esta fase se procede a identificar los controles técnicos que se necesitan para el cumplimiento óptimo del reforzamiento de estructuras por el método del recrecido.

Fase 5. En esta fase, se realizarán unos listados en donde se identificarán los ítems relevantes para los controles técnicos requeridos en obra indispensables para la metodología del reforzamiento estructural por el método del recrecido.

Fase 6. Finalmente se realizara una guía técnica de supervisión que será una gran herramienta que facilitara el trabajo del supervisor de obra para este tipo de proyectos.

Capítulo 4. Resultados de la investigación

4.1 Detallar los procesos que conforman las metodologías del reforzamiento de columnas, vigas y losas macizas, mediante la documentación de información para el método del recrecido.

El reforzamiento de elementos estructurales es una metodología utilizada para mejorar las condiciones existentes en las edificaciones que por razones externas (asignación de cargas adicionales) o por deterioro (envejecimiento) de la estructura, se pierde la resistencia o capacidad para soportar las cargas con las que fueron diseñados inicialmente.

En lo que respecta a las distintas metodologías empleadas para el reforzamiento de estructural, se documentara la información para el método de recrecido, el cual corresponde a un aumento en dimensiones y/o sección transversal de los elementos que conforman una estructura existente. A continuación en los siguientes literales se desenvuelven las distintas metodologías para el reforzamientos de elementos estructurales, haciendo énfasis en columnas, vigas y losas macizas.

4.1.1 Metodologías para el reforzamiento de columnas. Esta investigación presenta los métodos en donde se aumentan la sección transversal de la estructura, Conceptualmente, este tipo de refuerzo consiste en aumentar la sección con otro concreto de mejores propiedades (resistencia y módulo de elasticidad) que el existente. Según Izquierdo, J. (2015) Y SIKACOL S.A.S. (2017) se pueden reforzar las columnas por los siguientes métodos de recrecido:

4.1.1.1 Reforzamiento por recrecido con concreto reforzado. El reforzamiento por recrecido con adición de nuevo concreto reforzado es una estrategia ventajosa para proporcionar más alta resistencia así como para aumentar la rigidez. El concreto nuevo se puede colocar vaciado en sitio con formaleta, con concreto lanzado o proyectado o con adición de elementos prefabricados. 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.

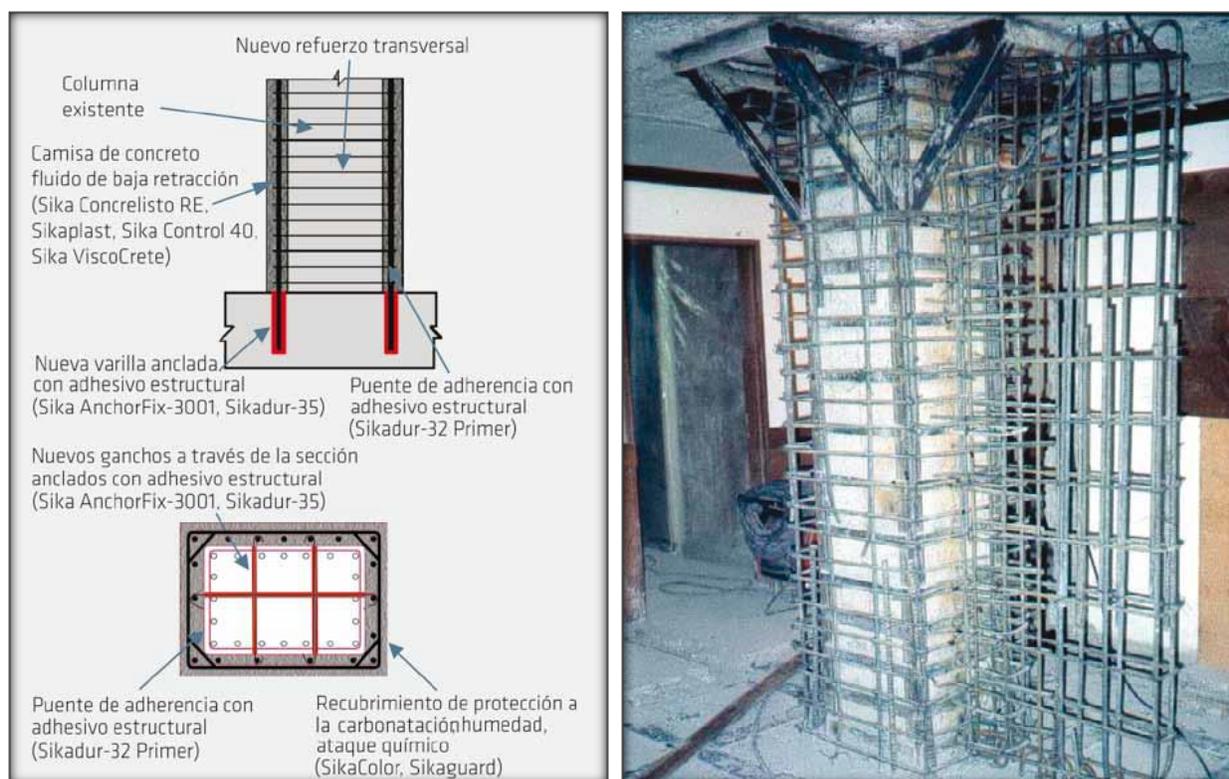


Figura 5. Recrecido en concreto reforzado. Fuente: SIKA, 2017

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 5). En este caso debe haber contacto entre enchaquetado y viga o losa, además si la losa es aligerada es conveniente rellenar con concreto y conformar un capitel macizo. En caso de requerirse estribos intermedios horizontales debido a las dimensiones de la columna lo ideal es que éstos atraviesen completamente la columna existente.

A continuación se presentan algunas recomendaciones cuando se utiliza esta técnica de rehabilitación UNDP/UNIDO (1983):

- Si es posible, se deben encamisar las cuatro caras de la columna.
- Para el diseño, se asume un comportamiento monolítico de las columnas compuestas.
- El espesor mínimo del encamisado debe ser de 10 cm para concreto premezclado y de 4 cm para concreto lanzado.
- La cuantía de refuerzo del encamisado con respecto al área encamisada debe estar limitado entre 0.015 y 0.04, y por lo menos, se deben utilizar barras del #5 en cada esquina de los cuatro lados del encamisado.
- La resistencia a compresión ($f'c$) del concreto nuevo debe ser mayor que la del concreto existente por 50 kg/cm².

A continuación se presenta el procedimiento constructivo del recrecido en columnas.

Primero se empieza con la preparación y limpieza a través del apuntalamiento, Las implicaciones de apuntalamiento de la columna original se debe considerar de tal manera que la camisa de concreto armado resistirá parte de la carga total y no sólo una parte de los incrementos de carga. Se empieza por apuntalar la estructura descargando la columna. Seguidamente se realiza la delimitación del área, retirando el concreto contaminado dejando así el perímetro de barra libre, esta limitación debe tener un trazado regular, además se escarifica la superficie del concreto viejo y se desbasta las aristas biselándolas para mejorar la adherencia del nuevo material y evitar vacíos. Finalizado esto el sustrato debe quedar limpio y con superficie seca, se realiza la limpieza con agua a presión, arenado u otro abrasivo.

De acuerdo al estado en el que se encuentre la interface entre concreto original y de refuerzo, existen varios métodos o soluciones de limpieza de la superficie existente:

- a) Una primera solución consiste en limpiar la superficie de concreto, eliminando polvo, suciedad o material susceptible de estar deteriorado, y aplicar una capa de lechado de agua y cemento para que exista una buena adherencia entre el concreto nuevo con el concreto viejo.
- b) Otra solución consiste en cajar intermitentemente la columna original en intervalos de aproximadamente 30 cm, creando entrantes y salientes que mejoren la transferencia de esfuerzos.
- c) Para refuerzos de cierta entidad, conviene picar el recubrimiento en las esquinas, descubrir en ellas las armaduras originales, y conectarlas a las nuevas mediante barras dobladas en forma de horquilla, preferiblemente soldadas a ambas. En este caso, el refuerzo conviene completarlo ejecutando un zunchado helicoidal de paso reducido (10 cm) que conecte los refuerzos originales de las esquinas con las centrales de refuerzo e incremente el efecto confinante.
- d) Finalmente, en casos de gran deterioro del concreto original, lo más adecuado es extraer completamente el recubrimiento de la columna inicial, descubriendo sus armaduras y conectándolas a las nuevas mediante horquillas soldadas. Al igual que en el caso anterior, el refuerzo debe completarse con un zunchado de paso reducido (10 cm o menos).

Si las barras de refuerzo han sufrido daños o pérdidas de secciones se procede a su reparación mediante empalmes (traslapo, conector mecánico o por soldadura), sino ha sufrido ningún

deterioro se realiza su limpieza de manera manual (cepillado), mecánica (granallado) o química (desengrasantes, decapantes).

La posición de las barras de acero del refuerzo longitudinal debe ser distribuida de manera uniforme. Si esto no es posible, se debe prestar atención para evitar la agrupación excesiva en las esquinas.

En cuanto a la adición de las ligaduras, se recomiendan que los mismos tengan una separación mínima de 10 cm.

Anclaje de la armadura longitudinal añadida.

Se perforan agujeros en las zapatas, los cuales deben ser limpiados adecuadamente por lo que el uso de una aspiradora es muy recomendable.

Las barras de acero pueden ser eficientemente ancladas a la zapata con una resina epóxica, para un buen anclaje se debe taladrar una perforación de diámetro 1 a 2 mm mayor que el diámetro de la varilla de refuerzo y de una profundidad adecuada, para que pueda ser cubierta toda la superficie con la resina. Es importante recalcar que la longitud de anclaje dependerá de las especificaciones del fabricante de la resina epóxica a ser utilizada.

Continuidad entre los pisos de los refuerzos longitudinales añadido (en caso de tener pisos superiores o inferiores):

Se perforan agujeros en la losa para pasar las nuevas barras de acero por la misma y garantizar la continuidad. De igual manera los agujeros deben ser limpiados y se debe añadir una resina epóxica a los mismos para que las nuevas barras de acero se adhieran perfectamente. De igual manera que en el paso anterior es importante recalcar que la longitud de anclaje dependerá de las especificaciones del fabricante de la resina epóxica a ser utilizada.

Seguidamente se proporciona una protección adicional a las barras (revestimientos, imprimaciones, etc.). Una vez transcurrido el tiempo de secado recomendado por el producto se procede con la aplicación de un puente de adherencia a la superficie del núcleo.

Previo al recrecido hay que perforar las losas y los cimientos para anclar las barras longitudinales de la nueva armadura a una profundidad de 6cm, se deben limpiar las perforaciones en seco y fijar las barras longitudinales en los estribos, tanto para mantener alejada la nueva armadura a 1,5cm del núcleo como para garantizar un recubrimiento mínimo de 2cm.

Para la reparación con el encofrado limpio y una vez aplicado el desencofrante se procede al armado parcial del mismo. Se debe encofrar el elemento y colocarle contrafuertes y correas para asegurar una buena sección lo más confinada posible.

La mezcla se vierte por tramos dentro de la cimbra y se eliminan las burbujas de aire mediante vibración, se desencofra la sección pasadas las 48 horas y se repite la acción en el tramo sucesivo. En el último tramo el material deberá ser vertido por orificios inducidos en la losa. En caso de no ser posible esta labor se puede rellenar el último tramo manualmente con

mortero estructural de alta resistencia, esta porción no puede exceder los 8 cm de espesor. Se debe curar el hormigón hasta los 7 días después de la aplicación o emplear membranas de curado. Es importante también proteger de la irradiación solar durante los dos primeros días de aplicado el método. Así mismo retirar los puntales solamente después de los 7 días de actuación.

Finalmente para la protección la superficie debe estar libre de humedad, partículas sueltas, polvo, aceite, cera y otras suciedades o productos químicos que pudieran afectar la adherencia de la barrera de protección. Los sistemas de defensa pueden ser revestimientos o imprimaciones colocados manual o mecánicamente de acuerdo con los requerimientos del producto.

4.1.1.2 Reforzamiento por recrecido 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 6) 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 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 ángulos y platinas metálicas en columnas y vigas de edificio de oficinas el efecto de confinamiento deseado es necesario un perfecto contacto entre el refuerzo externo y el concreto antiguo.



Figura 6. Recrecido con malla de concreto. Fuente Sika,2017

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 más 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.

4.1.1.3 Reforzamiento por enchaquetado o empresillado metálico.

El objetivo de esta técnica de reforzamiento es el mismo al descrito para la técnica de enchaquetado con malla de acero y su principio de funcionamiento es similar. La técnica consiste en colocar una chaqueta o camisa con láminas de acero envolviendo la columna (Figura 7). El enchaquetado se puede colocar dejando una holgura o espacio entre la columna y la lámina 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.

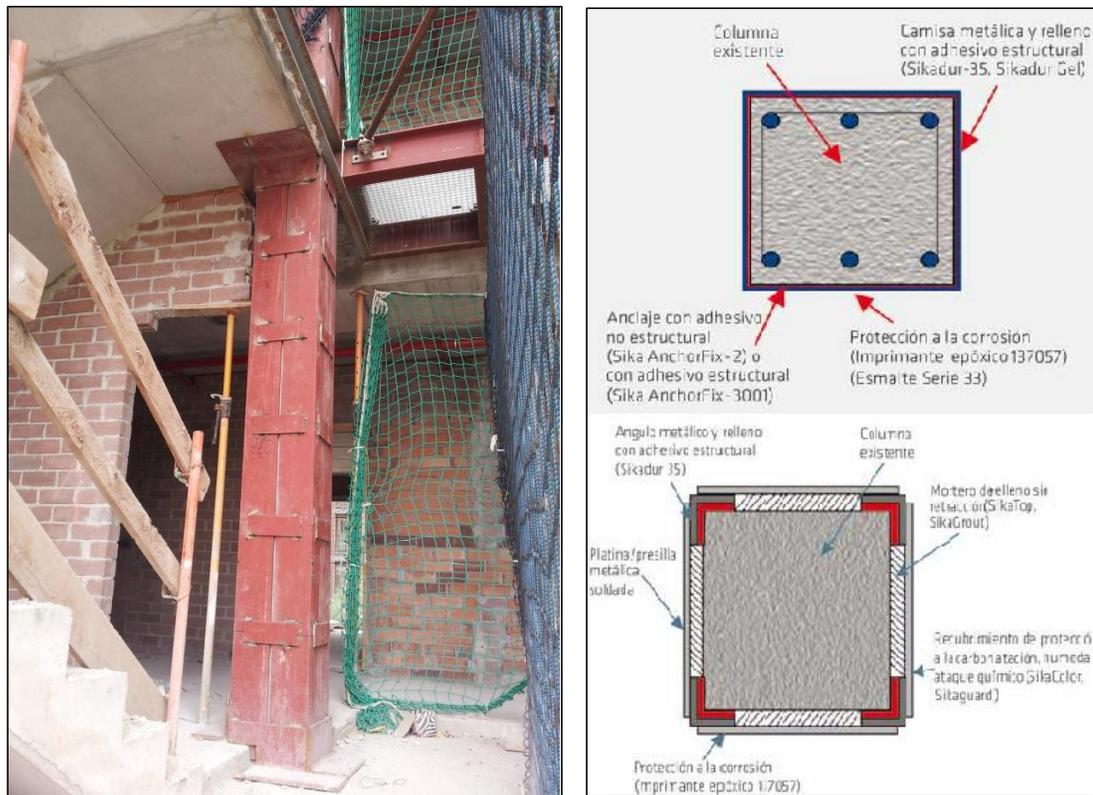


Figura 7. Enchaquetado por empresillado metálico. Fuente: SIKA, 2017

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. Esta técnica de enchaquetado con láminas de acero se puede usar también para confinar columnas de concreto reforzado que tienen longitudes de traslapeo inadecuados de las barras longitudinales y refuerzo transversal pobre o deficiente y aumentar así su resistencia a flexión y ductilidad. 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 láminas o las secciones de láminas 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 7).

4.1.1.4 Reforzamiento por recrecido o envoltura con materiales compuestos FRP

El objetivo de esta técnica de reforzamiento es el mismo al descrito para la técnica 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 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 (Figura 8). En general la fibra aramida se caracteriza por su alta resistencia al impacto.



Figura 8. Reforzamiento en columnas por medio de materiales compuestos.

Fuente: SIKA, 2017

4.1.2 Metodologías para el reforzamiento de vigas.

El refuerzo de vigas de hormigón en rehabilitación, generalmente viene motivado por un aumento de carga o por cambio en la geometría (gálibo de paso), pero son numerosos los casos en los que se presentan lesiones por corrosión en el armado, lo que obliga a sustituir o completar éste último. Conceptualmente un refuerzo de una viga consiste en aumentar su capacidad de respuesta a flexión simple o bien en restituir la capacidad mecánica perdida por la presencia de lesiones, bien por una mala ejecución o por la presencia de corrosión en el armado. A continuación se presenta diferentes tipos de refuerzo en vigas comúnmente utilizados:

4.1.2.1 Reforzamiento en vigas con concreto reforzado. En el caso de vigas el enchaquetado 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 enchaquetado 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 9) o solo en la cara inferior para reforzamiento a flexión.

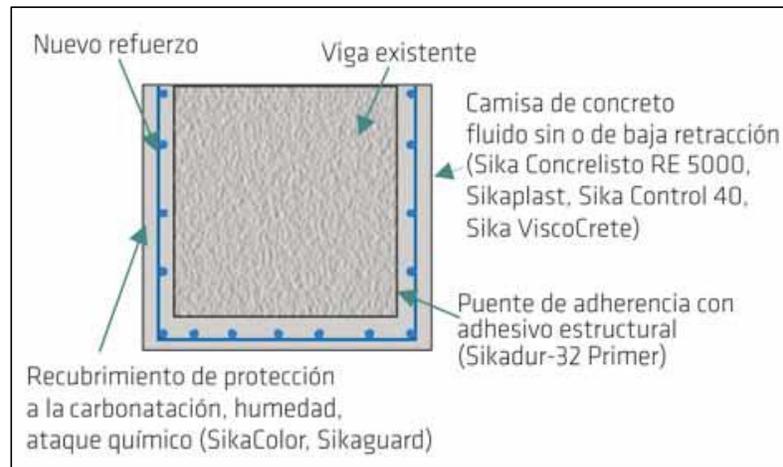


Figura 9. Recrido con concreto reforzado en vigas. Fuente: SIKA, 2017.

4.1.2.2 Reforzamiento en vigas con adición de elementos metálicos o de FRP adheridos y/o anclados externamente (perfil, ángulo, platina, lámina, 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.

Se puede aumentar la resistencia del elemento a flexión, cortante, torsión, carga axial con ésta 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.

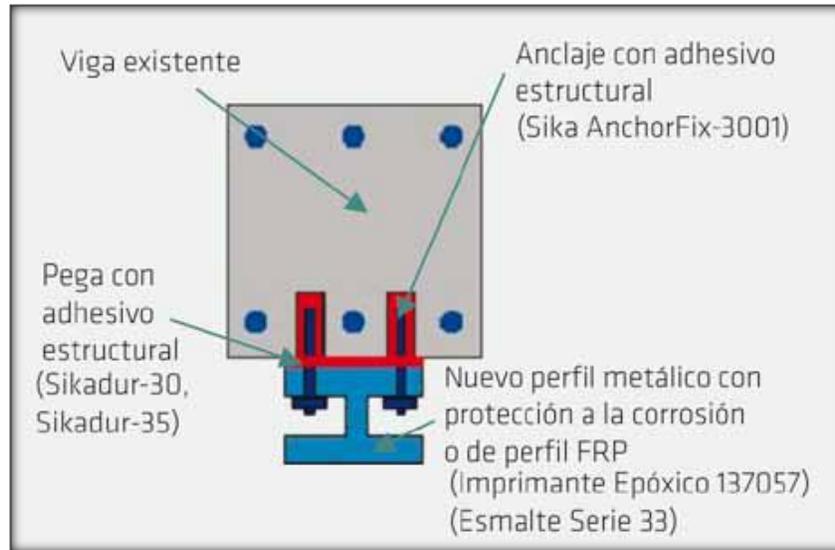


Figura 10. Reforzamiento con adición de perfiles de acero. Fuente SIKA, 2017

La adición de perfiles de acero (Figura 10) 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.

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



Figura 11. Enchaquetado en vigas con láminas metálicas Fuente: izquierdo J, 2015

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 preesforzando el FRP anclado en los extremos, en este caso el refuerzo puede estar adherido o no adherido dependiendo del diseño Para FRP pasivo hay que verificar si necesita anclaje o no en los extremos. 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 12. Reforzamiento con láminas en viga y losa Fuente: izquierdo J, 2015

El procedimiento para reforzar la viga se empieza por apuntalar la estructura descargando la viga. El apuntalamiento es el primer paso a realizar en casi cualquier rehabilitación estructural, principalmente por qué sirve también de medida preventiva en caso de sospecha de falla o riesgo en un elemento. Se debe apuntalar los elementos estructurales adyacentes, que pudieran estar vinculados y ser afectados por alguna falla en el elemento a rehabilitar. En el caso de la viga se procederá a apuntalar la placa que reposa sobre esta para así descargar la viga de cualquier sollicitación generada por la placa.

Seguidamente se realiza la delimitación del área, retirando el concreto contaminado dejando así el perímetro de barra libre, esta limitación debe tener un trazado regular, además se

corta la superficie del concreto viejo y se desbasta las aristas biselándolas para mejorar la adherencia del nuevo refuerzo.

Finalizado esto el sustrato debe quedar limpio y con superficie seca, se realiza la limpieza con agua a presión, arenado u otro abrasivo.

Si el acero de refuerzo han sufrido daños o pérdidas de secciones se procede a su reparación mediante empalmes (traslape, conector mecánico o por soldadura), sino ha sufrido ningún deterioro se realiza su limpieza de manera manual (cepillado), mecánica (granallado) o química (desengrasantes, decapantes).

Seguidamente se proporciona una protección adicional a las barras (revestimientos, imprimaciones, etc.) una vez que ha transcurrido el tiempo de secado recomendado por el producto se procede con el reforzamiento.

Para la reparación se coloca el nuevo acero de refuerzo corrugado bordeando toda la sección de la viga, teniendo en cuenta la longitud del traslape para el anclaje recto, posterior a esto hay que aplicar el puente de adherencia entre viga y refuerzo (adhesivo base epóxica), respetando el tiempo de manipulación y secado, las barras nuevas pueden ser también soldadas a las antiguas con horquillas de diámetro 3/8".

Por último se procede a llenar de manera manual la cavidad con mortero de base epóxica. La terminación se la realiza con la llana y demás equipo de acabado superficial dependiendo de

los requerimientos del producto. Se debe curar el concreto hasta los 7 días después de la aplicación o emplear membranas de curado. Es importante también proteger de la irradiación solar durante los dos primeros días de aplicado el método. Así mismo retirar los puntales solamente después de los 7 días de actuación.

Para la protección del recrecido La superficie reparada debe estar libre de humedad, partículas sueltas, polvo, aceite, cera y otras suciedades o productos químicos que pudieran afectar la adherencia de la barrera protectora. Los sistemas de defensa pueden ser revestimientos o imprimaciones colocados manual o mecánicamente de acuerdo con los requerimientos del producto.

4.1.3 Metodologías para el reforzamiento de Losas.

Existen diversos métodos para reforzar losas, entre ellos algunos de los mencionados anteriormente aplicables tanto a columnas, vigas y losas como adición de láminas FRP y la más usual que se basa en el aumento del espesor refleja directamente una disminución de la altura efectiva “a”, de la que el acero requerido es directamente proporcional, por lo tanto, al disminuir “a”, disminuye el acero requerido en la zona de flexión.

4.1.3.1 Reforzamiento en losas por engrosamiento 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 enchaquetado descrita anteriormente. 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.

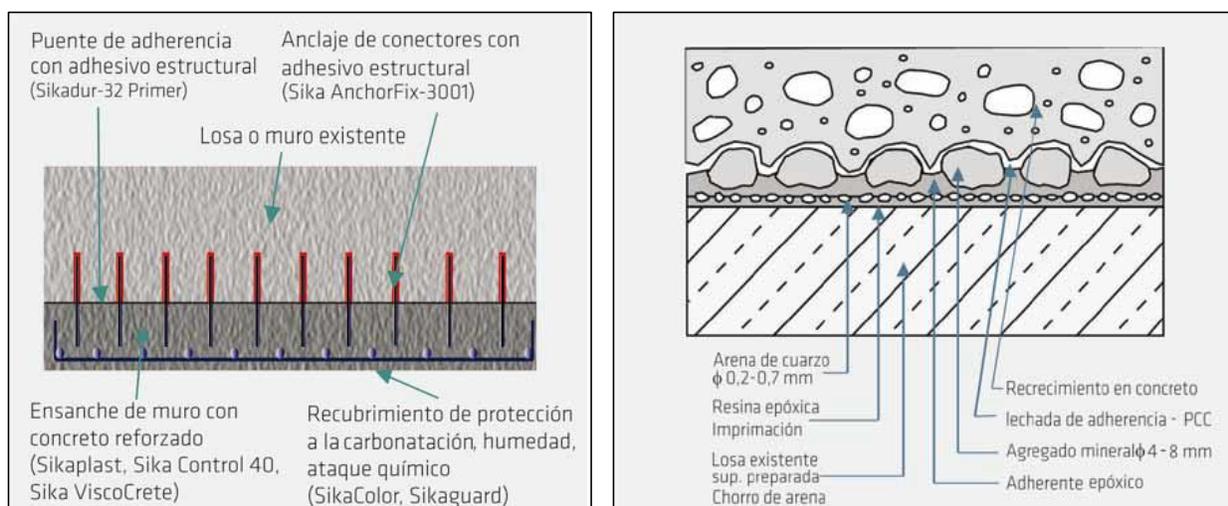


Figura 13. Recrecido en losas por aumento de sección Fuente: SIKA, 2017

Para iniciar el proceso en losas, se empieza por apuntalar la estructura descargando la placa. El apuntalamiento es el primer paso a realizar en casi cualquier rehabilitación estructural, principalmente por qué sirve también de medida preventiva en caso de sospecha de falla o riesgo en un elemento. Se debe apuntalar los elementos estructurales adyacentes, que pudieran estar vinculados y ser afectados por alguna falla en el elemento a rehabilitar. En el caso de la losa se procederá a apuntalar las vigas para así descargar la placa de cualquier sollicitación generada.

Seguidamente se realiza la delimitación del área, retirando el concreto contaminado dejando así el perímetro de barra libre, esta limitación debe tener un trazado regular, además se escarifica (Figura 14), la superficie del concreto viejo y se desbasta las aristas biselándolas para mejorar la adherencia del nuevo refuerzo.



Figura 14. Escarificación de recubrimiento de una losa Fuente: e- Struc.com

Finalizado esto el sustrato debe quedar limpio y con superficie seca, se realiza la limpieza con agua a presión, arenado u otro abrasivo.

Si las barras de refuerzo han sufrido daños o pérdidas de secciones se procede a su reparación mediante empalmes (traslapeo, conector mecánico o por soldadura), sino ha sufrido ningún deterioro se realiza su limpieza de manera manual (cepillado), mecánica (granallado) o química (desengrasantes, decapantes). Seguidamente se proporciona una protección adicional a las barras (revestimientos, imprimaciones, etc.) una vez que ha transcurrido el tiempo de secado recomendado por el producto se procede con el reforzamiento.

Luego para la reparación se coloca el nuevo acero de refuerzo corrugado bordeando toda la sección de la sección de la placa, teniendo en cuenta la longitud del traslape para el anclaje recto, posterior a esto hay que aplicar el puente de adherencia entre losa y refuerzo (adhesivo base epóxica), respetando el tiempo de manipulación y secado, las barras nuevas pueden ser también soldadas a las antiguas con horquillas de diámetro 3/8”.

Por último se procede a llenar de manera manual la cavidad con mortero de base epóxica. La terminación se la realiza con la llana y demás equipo de acabado superficial dependiendo de los requerimientos del producto. Se debe curar el concreto hasta los 7 días después de la aplicación o emplear membranas de curado. Es importante también proteger de la irradiación solar durante los dos primeros días de aplicado el método. Así mismo retirar los puntales solamente después de los 7 días de actuación.

Finalmente para la protección la superficie reparada debe estar libre de humedad, partículas sueltas, polvo, aceite, cera y otras suciedades o productos químicos que pudieran afectar la adherencia de la barrera protectora. Los sistemas de defensa pueden ser revestimientos o imprimaciones colocados manual o mecánicamente de acuerdo con los requerimientos del producto.

Tabla 1.

Resumen del recrecido de elementos estructurales

METODO DEL RECRECIDO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO			
	COLUMNAS	VIGAS	PLACAS
RECOMENDACIONES	En lo posible encamisar los cuatro lados de la columna	Las vigas deben ser encamisadas a lo largo de toda su longitud	Se encamisa, bien sea la cara superior o inferior según sea el caso
	Espesor mínimo: 10 cm concreto premezclado. 4 cm concreto lanzado.	Espesor mínimo: 8 cm concreto premezclado. 4 cm concreto lanzado	Espesor mínimo: 8 cm concreto premezclado. 4 cm concreto lanzado
	cuantía : 1.5% - 4%	> 50% del área total de la sección compuesta	Cuantía mínima 0.33%
	Usar mínimo 4 varillas # 5 en las esquinas	Refuerzo calculado	Refuerzo calculado
	El concreto debe ser > 50 kg/cm ² al concreto existente del elemento	El concreto debe ser > 50 kg/cm ² al concreto existente del elemento	El concreto debe ser > 50 kg/cm ² al concreto existente del elemento
VENTAJAS	Incrementa la capacidad de deformación, resistencia, así como rigidez.	Mantiene la estética y la geometría de la sección original de la viga.	Mantiene la estética y la geometría de la sección original de la placa
DESVENTAJAS	Puede recibir cargas después de un mes	Puede recibir cargas después de un mes	Puede recibir cargas después de un mes
MATERIALES	Materiales de consistencia fluida y autocompactante, baja contracción y retracción plástica, buena adherencia al sustrato (morteros, grouts) / Hormigón más Aditivos (expansor y casualmente plastificante).	Materiales de consistencia fluida y autocompactante, baja contracción y retracción plástica, buena adherencia al sustrato (morteros, grouts) / Hormigón más Aditivos (expansor y casualmente plastificante).	Materiales de consistencia fluida y autocompactante, baja contracción y retracción plástica, buena adherencia al sustrato (morteros, grouts) / Hormigón más Aditivos (expansor y casualmente plastificante).
	Adhesivo base epóxica	Varillas de refuerzo.	Varillas de refuerzo.
	Varillas de refuerzo.	Soldadura	Soldadura
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	Puntales telescópicos	Puntales telescópicos	Puntales telescópicos
	Andamios	Andamios	Andamios
	Chorro de arena, granalla o agua / Percutores	Chorro de arena, granalla o agua / Percutores	Chorro de arena, granalla o agua / Percutores
	Cepillo de cerdas metálicas	Cepillo de cerdas metálicas	Cepillo de cerdas metálicas
	Encofrado	Equipo soldador	Equipo soldador

METODO DEL RECRECIDO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO

	COLUMNAS	VIGAS	PLACAS
	Mezcladora, Carretilla, recipientes Varilla / Vibrador, Martillo de goma Disco de corte / Cincel y martillo Equipo para acabado superficial	Mezcladora, Carretilla, recipientes Equipo para acabado superficial Disco de corte / Cincel y martillo Equipo para acabado superficial	Mezcladora, Carretilla, recipientes Equipo para acabado superficial Disco de corte / Cincel y martillo Equipo para acabado superficial
PREPARACION Y LIMPIEZA	Se empieza por apuntalar la estructura descargando la viga. Delimitación del área Retirar concreto, descubrir acero Superficie limpia y seca, agua a presión, arenado u otro abrasivo.	Se empieza por apuntalar la estructura descargando la viga. Delimitación del área Retirar concreto, descubrir acero Superficie limpia y seca, agua a presión, arenado u otro abrasivo.	Se empieza por apuntalar la estructura descargando la placa. Delimitación del área Retirar concreto, descubrir acero Superficie limpia y seca, agua a presión, arenado u otro abrasivo.
	Perforar zapatas, con taladro, realizar limpieza con aspiradora	Si las barras de refuerzo deterioradas usar: empalmes, traslapo, conector mecánico o por soldadura	Si las barras de refuerzo deterioradas usar: empalmes, traslapo, conector mecánico o por soldadura
	Se perforan agujeros en la losa para pasar las nuevas barras de acero por la misma y garantizar la continuidad	Si las barras de refuerzo completas hacer: limpieza, (cepillado), mecánica (granallado) o química (desengrasantes, decapantes).	Si las barras de refuerzo completas hacer: limpieza, (cepillado), mecánica (granallado) o química (desengrasantes, decapantes).
	Anclar acero a la zapata o viga con una resina epóxica	Instalar acero a cortante según diseño	
	Protección adicional a las barras (revestimientos, imprimaciones, etc.).	Protección adicional a las barras (revestimientos, imprimaciones, etc.).	Protección adicional a las barras (revestimientos, imprimaciones, etc.).
	Dejar secar, aplicación de un puente de adherencia a la superficie del núcleo.	Se coloca el nuevo acero de refuerzo corrugado bordeando toda la sección de la viga, soldadas a las antiguas con horquillas de diámetro 3/8". Dejar secar, aplicación de un puente de adherencia a la superficie del núcleo.	Se coloca el nuevo acero de refuerzo corrugado bordeando toda la sección de la viga, soldadas a las antiguas con horquillas de diámetro 3/8". Dejar secar, aplicación de un puente de adherencia a la superficie del núcleo.
	Instalar encofrado, confinar, asegurar sección	Instalar encofrado, confinar, asegurar sección	Instalar encofrado, confinar, asegurar sección

METODO DEL RECRECIDO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO

	COLUMNAS	VIGAS	PLACAS
REPARACION	Llenar manualmente la cavidad con mortero de base epoxi.	Llenar manualmente la cavidad con mortero de base epoxi.	Llenar manualmente la cavidad con mortero de base epoxi.
	La mezcla se vierte por tramos dentro de la cimbra y se eliminan las burbujas de aire mediante vibración, se desencofra la sección pasadas las 48 horas y se repite la acción en el tramo sucesivo	La terminación se la realiza con la llana y demás equipo de acabado superficial dependiendo de los requerimientos del producto	La terminación se la realiza con la llana y demás equipo de acabado superficial dependiendo de los requerimientos del producto
	En el último tramo el material deberá ser vertido por orificios inducidos en la losa. En caso de no ser posible esta labor se puede rellenar el último tramo manualmente con mortero estructural de alta resistencia, esta porción no puede exceder los 8 cm de altura	En el último tramo el material deberá ser vertido por orificios inducidos en la losa.	En el último tramo el material deberá ser vertido por orificios inducidos en la losa.
		Proteger de la irradiación solar durante los dos primeros días de aplicado el método.	Proteger de la irradiación solar durante los dos primeros días de aplicado el método.
	Curar el hormigón hasta los 7 días después de la aplicación o emplear membranas de curado	Curar el hormigón hasta los 7 días después de la aplicación o emplear membranas de curado	Curar el hormigón hasta los 7 días después de la aplicación o emplear membranas de curado
	Proteger de la irradiación solar durante los dos primeros días de aplicado el método. Así mismo retirar los puntales solamente después de los 7 días de actuación		
	Retirar los puntales solamente después de los 7 días de actuación.	Retirar los puntales solamente después de los 30 días de actuación.	Retirar los puntales solamente después de los 30 días de actuación.

METODO DEL RECRECIDO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO			
	COLUMNAS	VIGAS	PLACAS
PROTECCION	La superficie debe estar libre de humedad, partículas sueltas, polvo, aceite, cera y otras suciedades o productos químicos que pudieran afectar la adherencia de la barrera de protección	La superficie reparada debe estar libre de humedad, partículas sueltas, polvo, aceite, cera y otras suciedades o productos químicos que pudieran afectar la adherencia de la barrera protectora	La superficie reparada debe estar libre de humedad, partículas sueltas, polvo, aceite, cera y otras suciedades o productos químicos que pudieran afectar la adherencia de la barrera protectora
	Los sistemas de defensa pueden ser revestimientos o imprimaciones colocados manual o mecánicamente de acuerdo con los requerimientos del producto.	Los sistemas de defensa pueden ser revestimientos o imprimaciones colocados manual o mecánicamente de acuerdo con los requerimientos del producto	Los sistemas de defensa pueden ser revestimientos o imprimaciones colocados manual o mecánicamente de acuerdo con los requerimientos del producto

4.2 Determinar el procedimiento de cálculo para el reforzamiento estructural de columnas, vigas y losas macizas mediante el método de recrecido.

4.2.1 Metodología de cálculo de recrecidos en columnas de concreto.

La reforma de edificaciones existentes conduce a situaciones que provocan “alteración” en los esfuerzos de las columnas de los pórticos, ya sea por la modificación de las plantas (abertura de huecos), añadido de plantas o simplemente por el incremento de la sobrecarga (cambio de uso). Alonso Izquierdo, J. (2015).

Esta alteración viene acompañada de un aumento en el esfuerzo axial por el incremento de carga, generalmente acompañado de un incremento de los momentos en base y cabeza del pilar, o en el caso más desfavorable una “descompensación” provocada por cambio en la geometría de la planta (abertura de huecos).

Generalmente, este tipo de situaciones, conllevan el refuerzo de los pilares e inclusive la sustitución funcional de los mismos mediante perfiles metálicos.

Reforzar una columna es dotarle de la capacidad mecánica suficiente para dar respuesta a las solicitaciones de compresión (axil) y de momentos (flexión desviada), ya sea requerida por un aumento del número de plantas, incremento de la sobrecarga de uso o simplemente por modificación de las condiciones de contorno.

El refuerzo de columnas de concreto, de forma general, corresponden a uno de los siguientes tipos:

Recrecido de la sección con microhormigón (MH)

Confinamiento de la sección con fibra de carbono (FRP)

Refuerzo de la sección mediante perfiles metálico (EM)

Conceptualmente, este tipo de refuerzo consiste en aumentar la sección del pilar de hormigón mediante encamisado con otro hormigón o micro-hormigón (Mortero fluido de retracción compensada y alta resistencia mecánica empleado generalmente para rellenos de 20 a 70 mm de espesor.) de mayores prestaciones mecánicas (resistencia y módulo de elasticidad) que el existente.

Se dispone una armadura vertical y estribos, generalmente con fines constructivos. En caso de que resulte necesaria por cálculo, la armadura vertical se ha de anclar en el arranque y

traslapar con el armado de los siguientes tramos, lo que aumenta la complejidad del proceso de ejecución.

Se presenta la metodología para cálculo de solicitaciones bajo cargas de servicio.

En el cálculo de la tensión en el hormigón del encamisado, se ha de tener en cuenta la deformación límite remanente por acortamiento elástico del concreto de la columna, como diferencia entre la deformación límite y la deformación de partida:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\text{lim}} - \varepsilon_0 = 0.002 - \varepsilon_0$$

Acciones gravitatorias sobre la columna

Acciones gravitatorias de carácter permanente:

Plantas:

Peso propio (D) (B.2.2 NSR - 10):

Sobrecargas:

Carga viva (L) (B.2.2 NSR - 10):

Carga muerta de muros (D) (B.2.2 NSR - 10):

Carga viva de cubierta (Le) (B.2.2 NSR - 10):

COMBINACIONES DE CARGA

ESTADO LIMITE DE SERVICIO

D + L

ESTADO LIMITE DE RESITENCIA

1.4 (D+ F) (B.2.4-1 NSR-10)

1.2 (D+ F + T) + 1.6 (L + H) + 0.5 (Lr ó G ó Le) (B.2.4-2 NSR-10)

$$1.2D+ 1.6 (Lr \text{ ó } G \text{ ó } Le) + (L \text{ ó } 0.8W) \quad (\text{B.2.4-3 NSR-10})$$

$$1.2D+ 1.6W+ 1.0L + 0.5 (Lr \text{ ó } G \text{ ó } Le) \quad (\text{B.2.4-4 NSR-10})$$

$$1.2D+ 1.0E + 1.0L \quad (\text{B.2.4-5 NSR-10})$$

$$0.9D+ 1.6W+ 1.6H \quad (\text{B.2.4-6 NSR-10})$$

$$0.9D+ 1.0E + 1.6H \quad (\text{B.2.4-7 NSR-10})$$

Acciones en la columna

Fase 0 → estado actual: se determina el esfuerzo axial característico y el acortamiento elástico de la sección ε_0 . Alonso Izquierdo, J. (2015).

$$\varepsilon_0 = \frac{N_k}{E_c * A_c + E_s * A_s}$$

$$E_c = 8500 * \sqrt[3]{f_{cm}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad (\text{N/mm}^2)$$

Donde:

N_k : Esfuerzo axial característico.

A_c : Área de la sección de concreto.

A_s : Área de la sección de acero.

E_c : Módulo de elasticidad del concreto

E_s : Módulo de elasticidad del acero 200000 N/mm²

Fase definitiva, con la totalidad de la carga: se determina el esfuerzo axial y los momentos de cálculo (Es una fórmula aproximada y suficientemente conservadora que no tiene en cuenta las rigidices de las vigas y el pilar del nudo. Su determinación exacta requiere el análisis previo de la estructura por método matricial) en ambas direcciones.

$$b_x = \frac{L_{y1} + L_{y2}}{2}$$

$$b_y = \frac{L_{x1} + L_{x2}}{2}$$

$$A = b_x * b_y$$

$$N = \left(\sum 1.2D + 1.6 L \right) * A$$

$$M_{d,x} = 1.6 * \left[(D + 0.5 L) * \frac{L_{x2}^2}{14} - D * \frac{L_{x1}^2}{14} \right] * b_y$$

$$M_{d,y} = 1.6 * \left[(D + 0.5 L) * \frac{L_{y2}^2}{14} - D * \frac{L_{y1}^2}{14} \right] * b_x$$

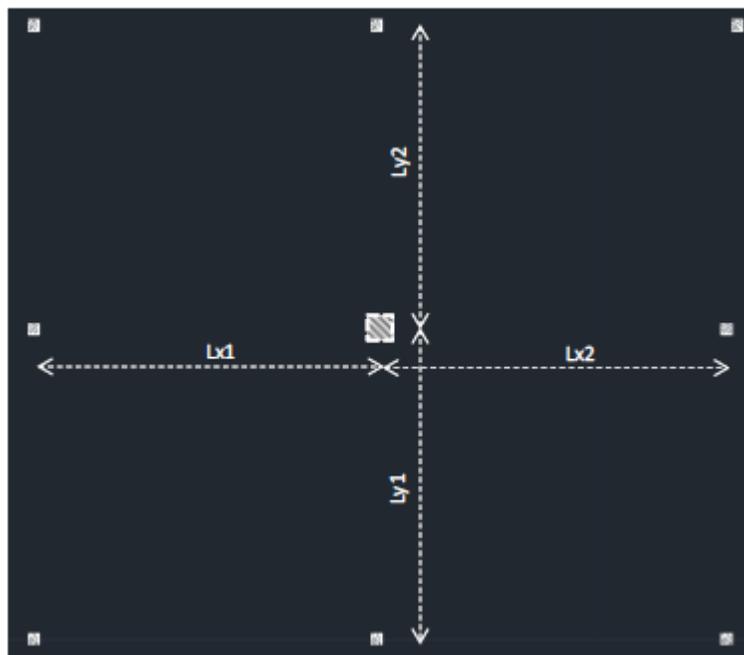


Figura 15. Geometría de la columna a reforzar

Se determina la excentricidad resultante en cada uno de los dos ejes de la columna (“x” e “y”), como relación:

$$e_x = \frac{M_{d,y}}{N_d}$$

$$e_y = \frac{M_{d,x}}{N_d}$$

4.2.1.1. Cálculo para recrecido en columna rectangular con concreto reforzado

Se ha de determinar el espesor de la sección de encamisado que se requiere para las nuevas solicitaciones obtenidas en la fase definitiva.

Materiales - parámetros resistentes

Concreto de columna existente, f_c , E (N/mm^2)

$$f_{cd} = f_c/1.6 \quad (\gamma_c = 1.6) \quad f_{cm} = f_c + 8 \quad E_C = 8500 * \sqrt[3]{f_{cm}} \quad (N/mm^2)$$

Concreto reforzado: $f_{cc} = 70 N/mm^2$, $E_{cc} = 29000 N/mm^2$

$$f_{ccd} = f_c/1.6 \quad (\gamma_c = 1.6) \quad \Delta_\epsilon = \epsilon_{lim} - \epsilon_0 \quad \sigma_{cc} \leq \Delta_\epsilon * E_{cc}$$

Acero para barras de refuerzo: $f_{yk} = 420 N/mm^2$ $E_s = 200000 (N/mm^2)$

$$f_{yd} = f_{yk}/1.15 \quad \epsilon_{lim} = 0.002 \quad f_{yc} \leq \epsilon_{lim} * E_s \leq 400$$

Tabla 2.

Sección a Recrecer

SECCIÓN DE COLUMNA A RECRECER	
b: dimensión menor de la columna	db, dh: canto útil de la sección lado “b” o “h”
h: dimensión mayor de la columna	As1: área de la armadura menos comprimida
r: recubrimiento de la armadura	As2: área de la armadura más comprimida
Uct: Capacidad mecánica sección de hormigon	$Uct = f_{cd} * ((b*h) - As)$
Nu: Axial de compresión último de la columna	$Nu = 0.85 * Uct + As1 * f_{yd} + As2 * f_{yd}$

Expresiones tomadas del tomo I de Hormigón armado de “Jiménez, P; García, A; Morán, F”.

Tabla 3

Recreciendo Nueva Sección resistente

RECRCIDO - NUEVA SECCIÓN RESISTENTE	
ER: espesor de recrecido	$b'=b+ER, h'=h+ER, d'b= db+ER, d'h= dh+ER$
r' : recubrimiento de la armadura existente	$r' = r + ER$
Acc: Área de la sección de recrecido	$A_{cc} = (b + 2 \cdot ER) \cdot (h + 2 \cdot ER) - (b \cdot h)$
Ucct: Capacidad mecánica sección de microhormigón	$Ucct = Acc \cdot \sigma_{cc}$
NuR : compresión última de la columna	$NuR = Nu + 0,85 \cdot Ucct$
e_{0h} : Excentricidad límite en dirección h	$e_{0h} = 1 - \rho_h / 2 * (1 - 0,85 Uct/Nd) \cdot d'h$
$\rho_h = r'/d'h$	
e_{0b} : Excentricidad límite en dirección b	$e_{0b} = (1 - \rho_b) / 2 * (1 - 0,85 Uct/Nd) \cdot d'b$
$\rho_b = r'/d'b$	

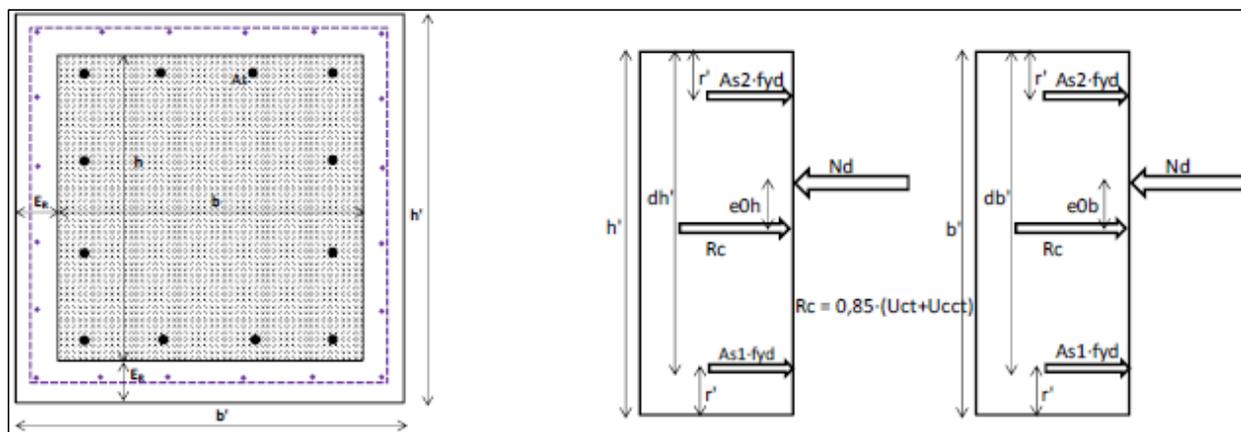


Figura 16. Sección de refuerzo de una columna rectangular con concreto reforzado.

Fuente: Alonso Izquierdo, J. (2015)

Ejemplo: aumento de la sección del pilar de planta baja anterior con un recrecido de 3 cm

Por lado con microhormigón (Tomado del libro Alonso Izquierdo, J. (2015)).

Se realiza la explicación bajo las reglamentaciones del código español EHE-08; se aclara que los procedimientos acá enmarcados deben ser adaptados a las disposiciones de la normativa vigente nacional NSR -10 para su adaptación y aprobación.

RECRECIDO PILAR CON MICROHORMIGÓN									
HORMIGÓN PILAR (Mpa)					RECRECIDO PILAR (cm)				
Fck	Ec	yc	Fcd		ER	b'	h'	A _{cc}	
20	25811	1,5	13,3		3	46	46	516	
ARMADURA PILAR (Mpa)					MICROHORMIGÓN (Mpa)				
Fy	Es	ys	Fyd	σ _{yd}	Fcc	Ecc	yc	Fccd	
500	200000	1,15	435	400	70	29000	1,5	46,7	
Ac	nº barras	∅	A _s (cm ²)	ε ₀	r' (cm)	db'	dh'	Ucct (kp)	
1562	12	20	37,70	0,000437	6	40	40	238512	
Uct (kp)	N _u (kp)	N _u / N _d		ε _{ilm}	Δε	σ _{cc}	N _{uR} (kp)	N _{uR} / N _d	
212473	334414	0,81	< 1	0,002	0,00156	45,3	537150	1,31	

Figura 17. Columna rectangular recrecido con microhormigón. Alonso Izquierdo, J. (2015)

En la situación actual resulta $N_u = 334414 \text{ kp} < N_d = 410856 \text{ kp}$.

Ejecutando un recrecido de 3 cm por lado (incremento de un 32 % de la sección) con concreto reforzado, resulta $N_{uR} = 537150 \text{ kp} > N_d = 410856 \text{ kp}$.

Se ha de comprobar que se cumple la condición de compresión compuesta: $e_y < e_{0h} / e_x < e_{0b}$

Tabla 4

Excentricidades

	Excentricidades (cm)	e0b	e0h
		8.61	8.61
Ex		6.03	
Ey			6.41

En la práctica, por cuestiones de recubrimiento de la armadura, el espesor de recrecido ha de ser mayor. Normalmente se trabaja con espesores mínimos de 5 cm.

4.2.1.1. Calculo para recrecido en columna circular con concreto reforzado. El procedimiento es el mismo que en el caso del pilar rectangular. Se determina el espesor de la sección de encamisado que se requiere para las nuevas solicitaciones obtenidas en la fase definitiva.

Formulación – parámetros de cálculo

Son los mismos parámetros anteriores. Cambia la dimensión y el área. Para el cálculo de la excentricidad límite, se simplifica y se asimila a una sección de un pilar cuadrado del mismo área, determinando el lado equivalente ($b'_{eq} = h'_{eq}$)

Tabla 5.*Sección columna a recrecer*

SECCIÓN COLUMNA A RECERCER	
D: diámetro del pilar	r: recubrimiento de la armadura
Ap: área de la columna $A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$	As: área de la armadura
Uct: Capacidad mecánica sección de hormigón	Uct=fcd * (Ap-As)

Nu : Axial de compresión última del pilar $Nu=0,85 \cdot Uct+As \cdot fyd$

RECRECIDO - NUEVA SECCIÓN RESISTENTE

ER: espesor de recrecido	$D'=D+ER$
r' : recubrimiento de la armadura existente	$r'=r+ER$
A_p' : Área de la sección del pilar recrecido	$A_p'=\pi \cdot D'^2/4$
Acc: Área de la sección de recrecido	$A_{cc}=A_p'-A_p$
$b'_{eq} = h'_{eq}$: lado de pilar cuadrado equivalente	$b'_{eq} = h'_{eq} = \sqrt{A_p'} \quad d' = b' - r'$
Ucct: Capacidad mecánica del concreto	$Ucct=Acc \cdot \sigma_{cc}$
NuR : compresión última del pilar	$NuR = Nu+0,85 \cdot Ucct$
e_{0h} : Excentricidad límite en dirección h	$e_{0h} = (1-\rho_h)/2 * (1 - 0,85 * Uct / Nd) * d'$
$\rho_h = r'/d'$	
e_{0b} : Excentricidad límite en dirección h	$e_{0b} = (1-\rho_b)/2 * (1 - 0,85 * Uct / Nd) * d'$
$\rho_b = r'/d'$	

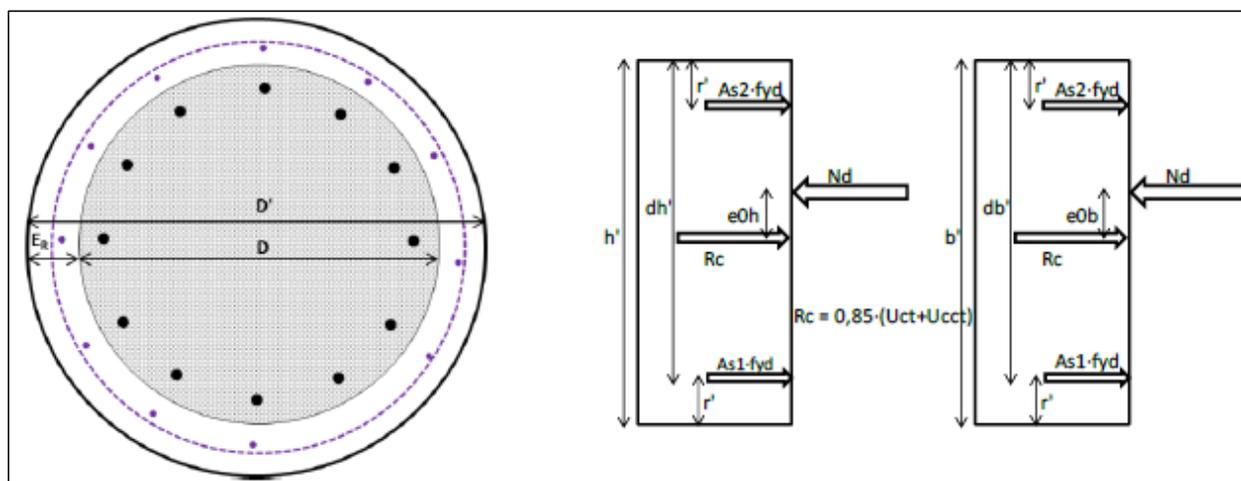


Figura 18. Sección de refuerzo de una columna circular con concreto reforzado. Fuente: Alonso Izquierdo, J. (2015)

Ejemplo: aumento de la sección del pilar anterior de planta baja, de $\varnothing=50$ cm, con un recrecido de 3 cm de concreto. Se realiza la explicación bajo las reglamentaciones del código español EHE-08; se aclara que los procedimientos acá enmarcados deben ser adaptados a las disposiciones de la normativa vigente nacional NSR -10 para su adaptación y aprobación.

CARGA CONCOMITANTE EN PILAR								
CARGAS / PLANTA (kp)				CARGA TOTAL (kp)		ESFUERZOS (kp/m)		
$Q_{p,k}$	$Q_{p,d}$	SQ_k	SQ_d	$\Sigma Q_{p,k}+SQ_k$	$\Sigma Q_{p,d}+SQ_d$	Nd	Md,x	Md,y
51000	68850	34000	51000	85000	119850	410856	26320	24771
60520	81702	34000	51000	189040	194004	Excentricidades (cm)		
60520	81702	10200	15300	70720	97002	e0,x		6,03
Nk=				344760		e0,y	6,41	
RECRECIDO PILAR CON MICROHORMIGÓN								
HORMIGÓN PILAR (Mpa)					RECRECIDO PILAR (cm)			
Fck	Ec	γ_c	Fcd		E_R	D'	A'_p	A_{cc}
20	25811	1,5	13,3		3	56	2463	500
ARMADURA PILAR (Mpa)					MICROHORMIGÓN (Mpa)			
Fy	Es	γ_s	Fyd	σ_{yd}	Fcc	Ecc	γ_c	Fccd
500	200000	1,15	435	400	70	29000	1,5	46,7
Ac	nº barras	\varnothing	A_s (cm ²)	ϵ_0	r' (cm)	b'eq	d'eq	Ucct (kp)
1926	12	20	37,70	0,000366	6	49,63	43,63	237768
Uct (kp)	N_u (kp)	N_u / N_d		ϵ_{lim}	$\Delta\epsilon$	σ_{cc}	N_{uR} (kp)	N_{uR} / N_d
261908	376434	0,92	< 1	0,002	0,00163	47,4	578537	1,41

Figura 19. Código español EHE-08. Fuente: Alonso Izquierdo, J. (2015)

En situación actual resulta $N_u = 376434$ kp < $N_d = 410856$ kp.

Ejecutando un recrecido de 3 cm (incremento de un 25 % de la sección) con concreto,

Resulta $N_{uR} = 537150$ kp > $N_d = 410856$ kp.

Se ha de comprobar que se cumple la condición de compresión compuesta:

$$e_y < e_{0h} / e_x < e_{0b}$$

Tabla 6*Compresión compuesta*

Excentricidades (cm)	e0b	e0h
	9.56	9.56
Ex	6.03	
Ey		6.41

4.2.2 Metodología de cálculo de recrecidos en vigas y losas macizas de concreto.

El refuerzo de vigas y losas exige, normalmente, importantes concentraciones de esfuerzos en determinadas zonas de la junta de contacto entre pieza original y refuerzo. Ello obliga a cuidar de modo especial los mecanismos de transferencia e implica una mayor dificultad de análisis estructural. Sin embargo, se trata de intervenciones menos extensas que, por tanto, afectan a menos elementos constructivos. KENALIEVA, V. S. (2011).

Resulta conveniente distinguir entre dos grandes grupos de refuerzos:

- Aquellos básicamente destinados a incrementar capacidad flectora.
- Aquellos cuyo fin primordial es mejorar la resistencia a cortante.

La frontera entre unos tipos y otros de refuerzos, evidentemente, no es siempre clara, existiendo sistemas que mejoran simultáneamente la resistencia a flexión y a cortante.

En términos de diseño, este sistema tiene el problema de exigir un incremento considerable de las dimensiones de la viga original.

A nivel de análisis estructural, debe estudiarse en primer lugar las necesidades de refuerzo en función de las posibilidades de redistribución de la ley de momentos. También se debe comprobar la capacidad resistente de la viga original frente a cortante para determinar si es necesario intervenir en ese sentido. Después ha de procederse al análisis de las secciones determinantes.

Los problemas de transferencia de esfuerzos entre la viga original y el refuerzo o el despegue de la junta no suelen ser importantes dada la gran superficie de contacto existente y la posibilidad, en su caso, de efectuar cajeados y/o conectar armaduras.

A nivel constructivo, el hormigonado del refuerzo presenta cierta complejidad a la hora de su colocación. Una alternativa consiste en taladrar en la placa desde donde se inyecta el hormigón, y otra alternativa es proyectar hormigón. La dosificación del mismo debe ser muy cuidada, garantizando una buena adherencia con el material original, y evitando la formación de hormigueros.

EJEMPLO: Se realizara la explicación del método, suponiendo un cambio de uso en una estructura, en donde una viga estará exigida a nuevas solicitaciones; partiendo de resultados ya obtenidos mediante análisis estructural y el empleo de herramientas informáticas.

Se realiza la explicación bajo las reglamentaciones del código español EHE-08; se aclara que los procedimientos acá enmarcados deben ser adaptados a las disposiciones de la normativa vigente nacional NSR -10 para su adaptación y aprobación.

Estos son los resultados obtenidos y los que nos indican la necesidad de refuerzo:

$$M_{d1}^+ = 110,66 \text{ KN.m}$$

$$M_u^+ = 165,5 \text{ KN.m}$$

$$M_{d2}^+ = 168,23 \text{ KN.m}$$

Momentos negativos:

$$M_{d1}^- = 168,19 \text{ KN.m}$$

$$M_u^- = 211,74 \text{ KN.m}$$

$$M_{d2}^- = 250,89 \text{ KN.m}$$

Donde:

M_{d1} : Momento máximo de cargas existentes inicialmente

M_{d2} : Momento máximo de cargas existentes con el cambio de uso

M_u : Momento último para el que está calculada la viga

Al ser:

$$M_{d2}^+ > M_u^+$$

$$168.23 \text{ KN.m}^+ > 165.5 \text{ KN.m}^+$$

Y

$$M_{d2}^- > M_u^-$$

$$250.89 \text{ KN.m}^- > 211.74 \text{ KN.m}^-$$

Es necesario refuerzo a flexión, tanto en positivos como en negativos.

En cuanto al cortante:

Cortantes máximos a los que está sometida la viga inicialmente:

$$V_{+} = 188,26 \text{ KN}$$

$$V_{-} = 176,81 \text{ KN}$$

Cortante calculado para agotamiento por tracción en el alma de la viga:

$$V_{u2} = 240,34 \text{ KN}$$

Cortante máximo calculado a un canto útil del apoyo, después del cambio de uso:

$$V_{rd2}^{+} = 226,12 \text{ KN}$$

$$V_{rd2}^{-} = 219,70 \text{ KN}$$

Al ser:

$$V_{rd2}^{+} < V_U$$

$$226.12 \text{ KN}^{+} < 240.34 \text{ KN Y}$$

$$V_{rd2}^{-} < V_U$$

$$219.70 \text{ KN}^{+} < 240.34 \text{ KN}$$

No es necesario refuerzo a cortante.

El cálculo del refuerzo se va a realizar siguiendo el Anexo 7 de la Instrucción EHE-08.

Se vuelven a indicar las características de la viga existente:

Hormigón utilizado: HA-25

Acero utilizado: B 500 SD

Coefficiente minoración hormigón: $Y_c = 1,5$

Coefficiente minoración acero: $Y_s = 1,15$

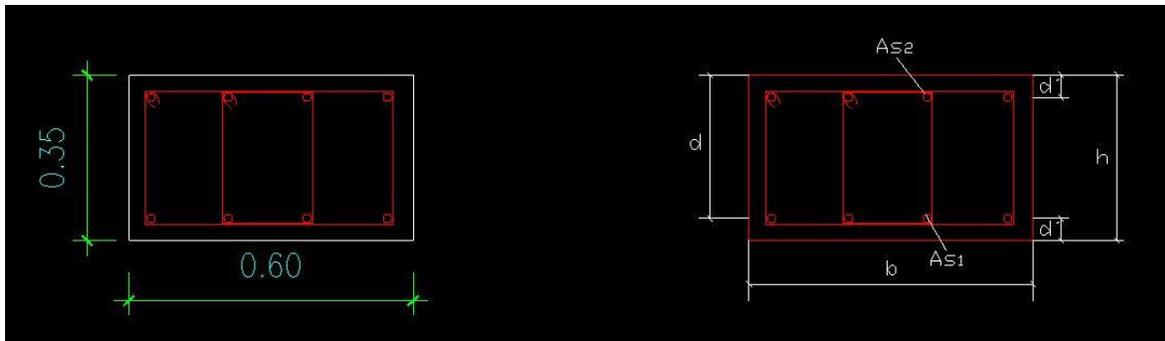


Figura 20. Sección de la viga y dimensiones para el cálculo.

Fuente: Kenalieva, v. S. (2011).

Donde:

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d = 31 \text{ cm}$$

$$h = 35 \text{ cm}$$

Al ser más restrictivo el refuerzo de flexión negativa, comenzamos con la búsqueda del canto necesario de la viga para el cuál el canto útil de la misma cumpliría con los esfuerzos de momento negativo. Esto se consigue aumentando el canto de la viga.

Comenzamos comprobando si el canto útil, al aumentar en 8 cm, cumple los esfuerzos de momento negativo:

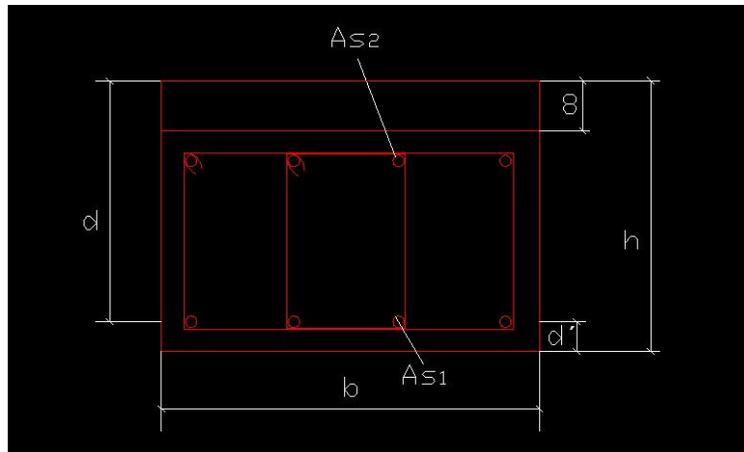


Figura 21. Sección de la viga con aumento de canto .kenalievá, v. S. (2011).

Donde:

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d = 31 + 8 = 39 \text{ cm}$$

$$h = 35 + 8 = 43 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = 3 \times 1.13 \text{ cm}^2 + 3 \times 2.01 \text{ cm}^2 + 4 \times 2.01 \text{ cm}^2 = 17.46 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = 3 \times 3.14 \text{ cm}^2 = 9.41 \text{ cm}^2$$

Según la Instrucción EHE-08:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 43.48 \text{ KN/cm}^2$$

$$U_0 = f_{cd} \times b \times d = 16.67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 390 \text{ mm} = 3900.78 \text{ KN}$$

$$U_V = 2 \times U_0 \times \frac{d'}{d_r} = 2 \times 3900.78 \text{ KN} \times \frac{4 \text{ cm}}{39 \text{ cm}} = 800.16 \text{ KN}$$

$$U_a = f_{cd} \times b \times h = 16.67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 600\text{mm} \times 430\text{mm} = 4300.86 \text{ KN}$$

$$U_{s1} = f_{yd} \times A_{S1} = 43.48 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \times 17.46 \text{ cm}^2 = 759.16 \text{ KN}$$

$$U_{s2} = f_{yd} \times A_{S2} = 43.48 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \times 9.42\text{cm}^2 = 409.58 \text{ KN}$$

Siguiendo el (Art.3.2) de la Instrucción EHE-08:

Comprobación:

$$U_{s1} - U_{s2} = 759.15 \text{ KN} - 409.58 \text{ KN} = 349, 58 \text{ KN}$$

$$U_{s1} - U_{s2} < U_v$$

$$M_U = 0.24 \times U_v \times d' \times \frac{(U_v - (U_{s1} - U_{s2})) \times (1.5 \times U_{s1} + U_{s2})}{(0.6 \times U_v + U_{s2})^2} + U_{s1} \times (d - d')$$

$$M_U = 0.24 \times 800.16\text{KN} \times 0.04\text{m} \times \frac{(800.16\text{KN} - 349.58\text{KN}) \times (1.5 \times 759.16 + 409.58)}{(0.6 \times 800.16\text{KN} + 409.58\text{KN})^2} + 759.15 (0.39 - 0.04)$$

$$M_U = 272.47 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Por lo tanto el momento último con el canto útil incrementado en 8 cm tras hacer el recrecido de hormigón es:

$$M_u = 272.47 \text{ KN.m}$$

$$M_{d2-} = 250,89 \text{ KN} - \text{Momento máximo negativo tras cambio de uso}$$

Comprobamos que el momento último calculado con el recrecido de 8 cm es superior al momento máximo al que estará sometida la viga tras el cambio de uso.

$$M_U > M_{d2-}$$

$$272.47 \text{ KN.m}^{-1} > 250.89 \text{ KN.m}^{-1}$$

Por lo tanto, el recredido de hormigón será de 8 cm.

Una vez comprobado que con un recredido de 8 cm la viga soportará las cargas a causa del cambio de uso, se dimensiona el armado del recredido siguiendo la Instrucción EHE-08:

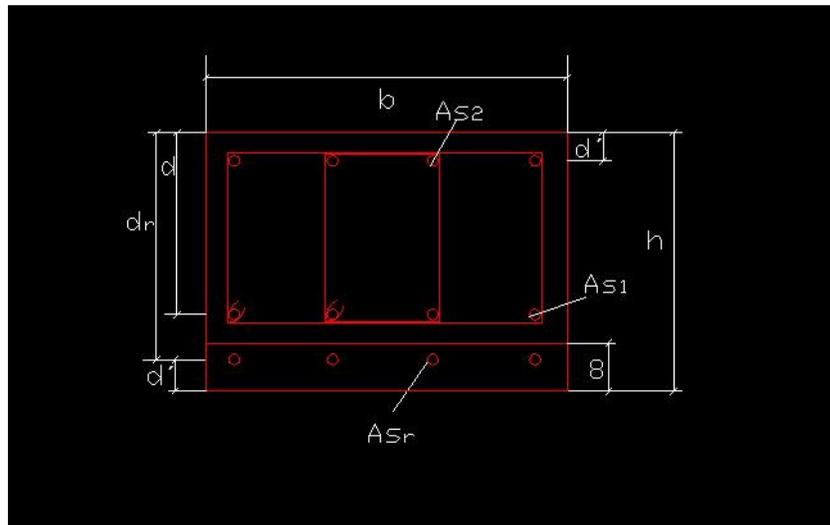


Figura 22. Sección de la viga con recredido de hormigón armado.

Fuente: kenalieva, v. S. (2011).

Donde:

$$h = 43 \text{ cm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d = 31 \text{ cm (canto útil de la viga existente)}$$

$$d_r = 39 \text{ cm (canto útil de la viga reforzada)}$$

A_{sr} = cuantía de acero del refuerzo para calcular

Según la Instrucción EHE-08:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 43.48 \text{ KN/cm}^2$$

$$U_0 = f_{cd} \times b \times d = 16.67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 390 \text{ mm} = 3900.78 \text{ KN}$$

$$U_V = 2 \times U_0 \times \frac{d'}{d_r} = 2 \times 3900.78 \text{ KN} \times \frac{4 \text{ cm}}{39 \text{ cm}} = 800.16 \text{ KN}$$

$$U_a = f_{cd} \times b \times h = 16.67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 430 \text{ mm} = 4300.86 \text{ KN}$$

Seguendo el (Art.3.1) de la Instrucción EHE-08:

Dimensionado:

$$X_i = 0.625 \times d_r = 0.625 \times 390 \text{ mm} = 243.75 \text{ mm} = X_f$$

$$M_f = 0.80 \times U_0 \times U_f \times \left(1 - 0.4 \times \frac{X_f}{d_r}\right)$$

$$M_f = 0.80 \times 3900 \text{ KN} \times 0.2438 \text{ m} \times \left(1 - 0.4 \times \frac{0.2438 \text{ m}}{0.39 \text{ m}}\right) = 570.57 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d2}^+ = 168.23 \text{ KN} \cdot \text{m} \quad - \text{Momento maximo positivo por cambio de uso}$$

$$1^\circ \quad M_{d2}^+ < M_f$$

Por lo tanto:

$$U_{s2} = 0$$

$$U_{s1} = U_0 \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times M_{d2}^+}{U_0 \times d_r}}\right]$$

$$U_{s1} = 3900.78 \text{ KN} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 168.23 \text{ KN} \cdot \text{m}^+}{3900.78 \text{ KN} \times 0.39 \text{ m}}}\right]$$

$$U_{s1} = 458.28 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

A partir del valor de U_{s1} se va a obtener la cuantía de acero necesaria para soportar el esfuerzo debido al cambio de uso. El valor obtenido será la cuantía total de acero que debe haber en la viga reforzada, es decir, la cuantía de acero de la viga existente y la cuantía de acero del refuerzo.

$$U_{s1} = f_{yd} \times A_{sr}$$

$$\frac{U_{s1}}{f_{yd}} = A_{sr} = \frac{458.28 \text{ KN} \cdot \text{m}}{4348 \text{ KN/cm}^2} = 10.54 \text{ cm}^2$$

$$A_{sr} = 10.54 \text{ cm}^2$$

4.3 Identificar los controles técnicos requeridos para el reforzamiento estructural por el método del recrecido de acuerdo a especificaciones técnicas y lineamientos estipulados por norma.

Los controles técnicos requeridos en la ejecución de las actividades necesarias para el reforzamiento estructural por el método del recrecido o encamisado de la sección transversal de una estructura mediante concreto reforzado, deben estar estrechamente relacionados con el marco normativo vigente que rige en el territorio nacional y algunas normas internacionales.

4.3.1 Controles técnicos necesarios para el reforzamiento de columnas, vigas y losas, en concreto reforzado. Para definir los controles técnicos necesarios en el reforzamiento de columnas, vigas y losas bajo los lineamientos de la normatividad colombiana vigente, cabe resaltar que no existe ningún manual bajo el reglamento colombiano para llevar a cabo el control técnico de un proyecto de rehabilitación estructural mediante el método del recrecido, por consiguiente rescatando algunos criterios de la norma NSR-10 (Reglamento colombiano de construcción sismo resistente), se puede considerar que dentro de sus lineamientos si admite el reforzamiento estructural mediante el recrecido de su sección transversal en concreto reforzado.

Según lo estipula la norma NSR 10, se admiten en general los siguientes tipos de reforzamiento estructural (ATC, 1978; Bertero, 1992; FEMA, 19975):

- a) Reparación mediante reemplazo o restauración de material dañado, incluyendo la inyección de materiales selladores, etc.
- b) Incremento en la resistencia de las conexiones por cambio de conectores.

- c) Incremento de espesores o dimensiones en miembros. Adición de refuerzos, incluyendo forramiento con acero estructural o concreto confinado.
- d) Incorporación de anclajes mecánicos.
- e) Sustitución de conexiones a corte por conexiones a momento.
- f) Consolidación del terreno mediante inyecciones.
- g) Transformación de pórticos en sistemas de muros o pórticos arriostrados.
- h) Adición de nuevos planos resistentes de pórticos, muros o pórticos diagonalizados.
- i) Adición de diafragmas.
- j) Adición de zapatas, pilotes o anclajes en fundaciones.
- k) Supresión de niveles ó plantas de la edificación.

Por otra parte dentro del ámbito internacional, existe el código de construcción American Concrete Institute (ACI 562), el cual corresponde a la Norma para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto. Cuando se utiliza esta técnica de rehabilitación se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos constructivos estipulados por norma (ACI 369-06):

Controles técnicos para recrecidos de estructuras en concreto reforzado. El encamisado de concreto es preferible colocarlo en todas las caras del elemento, pero muchas veces no se tiene acceso y por ello se aplica solamente en una, dos o tres caras

La superficie del elemento debe estar limpia y rugosa para garantizar una buena adherencia entre el concreto nuevo y el existente, promoviendo con ello, un comportamiento monolítico.

El revestimiento y el tamaño máximo del agregado grueso serán de acuerdo con la separación mínima del refuerzo y la distancia mínima entre la cimbra y el concreto existente.

En columnas, el refuerzo longitudinal debe extenderse a través de la losa de entrepiso, para proporcionar continuidad e incrementar la resistencia a flexión en los extremos del elemento.

Cuando el encamisado no sea completo, deberá verificarse la necesidad de colocar elementos de conexión que garanticen la transmisión de los esfuerzos cortantes entre el encamisado y el elemento por reforzar.

Para garantizar un comportamiento monolítico del elemento encamisado, es necesario tener un adecuado mecanismo de transferencia de cortante en la zona de contacto entre el encamisado y el elemento existente, tal que evite el movimiento relativo entre ambos concretos.

Teniendo en cuenta los parámetros mencionados y la norma ACI 562, en la siguiente tabla se puede apreciar los controles técnicos necesarios para el reforzamiento de columnas vigas y logas en concreto reforzado por medio del método de recrecido.

Tabla 7*Controles técnicos para el método de recrecido de estructuras*

Controles	Evaluación	Descripción	Norma
Determinar la condición actual	<ul style="list-style-type: none"> - Encontrar las causas del problema. - Determinar la causa o causas de la deficiencia. - Establecer a que partes que no están afectadas se podrían extender las deficiencias. Identificar los elementos o lugares que requieren reparación.	Realizar la inspección visual y definir los elementos estructurales críticos para el posterior estudio.	ACI 562
Evaluación de las condiciones existentes	<ul style="list-style-type: none"> - Obtener información para realizar los análisis estructurales. - Visual, métodos destructivos y no destructivos (dimensiones, geometría, modificaciones alteraciones realizadas a la estructura. -Uso de la estructura ¿Cuáles son las cargas? 	Realizar ensayos destructivos y no destructivos, como el ensayo de carbonatación y extracción de núcleos.	ACI562-NSR-10
Propiedades de los materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenida de los planos y especificaciones originales. - Datos históricos. - Prueba de muestras obtenidas en campo. 	Se obtiene información del sistema estructural y sus características.	ACI562-NSR-10
Concreto	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la compresión. - Núcleos de concreto - Correlación con núcleos. Esclerómetro. - Petrografía: Calidad del concreto. 	Se deben realizar núcleos de concreto para verificar la adherencia entre concretos viejo y nuevo.	ACI 214.4R
Refuerzo de acero	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño, numero, ubicación del refuerzo, pruebas no destructivas y destructivas. - Muestras para determinar el esfuerzo a la fluencia. 	El acero de refuerzo debe estar anclado al concreto existente para asegurar adherencia.	ACI 440.2R-XX
Adherencia de anclajes	<ul style="list-style-type: none"> -Encapsulando el refuerzo o anclaje. - Considerar las cargas que actúan en la interface. - Especificar los requerimientos para preparar la superficie del concreto. - Verificar que el sustrato puede resistir los esfuerzos debido a las cargas y cambios de volumen. 	SI $V_v \geq 80$ psi (0.55 MPa), Usar anclajes mecánicos para transmitir el corte horizontal.	ACI 318 Pruebas de anclajes: ACI 355.2

Nota. La tabla muestra los controles técnicos para el método de recrecido de hormigón armado. Fuente: Autor de proyecto.

Dado a la importancia del cemento y la mezcla de concreto en el recrecido de elementos estructurales para la rehabilitación de edificaciones, es importante tener en cuenta los controles técnicos o controles de calidad del concreto, ya que son estos, los que brindan la confianza necesaria que garantizan el reforzamiento como una buena medida de rehabilitación.

A continuación en las siguientes tablas se observa el debido control del cemento y el concreto.

Tabla 8

Control de calidad de cementos y morteros

Ensayo	Norma
Finura del cemento portland- Aparato de Blaine	NTC 33
Peso específico del cemento	NTC 221
Consistencia normal del cemento	NTC 110
Tiempos de fraguado del cemento	NTC 118
Expansión en autoclave del cemento Portland	NTC 107
Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (1 probeta)	NTC 111/NTC 220
Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (9 probetas).	NTC 111/NTC 220

Nota. La tabla muestra el control de calidad para el cemento y morteros. Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 9

Control de calidad del concreto

Ensayo	Norma	Aplica SI / NO	Cumple SI / NO
Resistencia a la compresión de cilindros y núcleos de concreto	NTC 673:2000		
Resistencia a la compresión de cilindros de concreto con módulos de elasticidad.	NTC 4025:2005		
Resistencia a la flexión del concreto (método de la viga simple cargada en los tercios de la luz)	INVE 414:2007		
Resistencia a la flexión del concreto (método de la viga simple cargada en el punto central)	INVE 415:2007		
Tensión indirecta de concreto método Brasileiro	NTC 722		
Determinación de la resistencia flexural en vigas reforzadas con fibras	EFNARC		
Determinación de la absorción de energía de paneles de concreto.	EFNARC		
Estimación de la resistencia del concreto mediante el método de madurez	ASTMC 1074		

Nota. La tabla muestra el control de calidad del concreto. Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 10*Control de calidad del concreto lanzado*

Ensayo	Descripción	Norma	Cumple SI / NO
AGREGADOS	Ocupan el 60 y el 80 por ciento del volumen de la mezcla de concreto.	I.N.V.E-201- I.N.V.E-245	
Concreto lanzado	Se debe fabricar una mezcla cada día de trabajo o cada 38 m ³ . Deberá tener una humedad de 15 t 27°C.	ACI 506	
Especímenes de concreto	Deben tomarse del concreto colocado en sitio	ASTM C 1140	

Nota. La tabla muestra el control de calidad para el concreto lanzado. Fuente: Autor del proyecto.

Las tablas anteriores tienen como finalidad verificar que las condiciones de la mezcla de concreto sean las ideales para poder llevar a cabo una rehabilitación estructural, ya que depende de la mezcla una buena adherencia con el concreto viejo y posteriormente que el nuevo elemento recrecido trabaje monolíticamente.

Conclusiones

En cuanto a las distintas metodologías que se manejan para realizar el método del recrecido como alternativa para el mejoramiento estructural, se concluye que independientemente del procedimiento utilizado, cuando se habla de recrecido en concreto, es necesario utilizar productos que mejoren el comportamiento del concreto y que faciliten la adherencia entre el concreto existente y el nuevo concreto adicionado, de igual forma el acero de refuerzo adicionado debe ir respectivamente anclado al elemento estructural por recrecer.

Se concluye que el método de recrecido por concreto reforzado es el método más utilizado y es muy similar al diseño estructural de un elemento inicial, ya sea viga, columna o losa, puesto que existen estudios e investigaciones donde se ha implementado y se ha llegado a buenos resultados, en cambio utilizar otro tipo de procedimiento se corre el riesgo de que los materiales a utilizar no posean las propiedades mecánicas necesarias para garantizar el óptimo refuerzo de la estructura.

En cuanto a los controles técnicos, se concluye que es importante realizar un seguimiento completo de los materiales a utilizar para aplicar el método del recrecido, ya que de ello depende que cumpla con su función de reforzar y prolongar la vida útil de la estructura.

Recomendaciones

Se recomienda realizar investigaciones con respecto al tema e estudio, ya que existen muy poca información del mismo, y la norma vigente NSR-10, no contiene parámetros para la supervisión técnica de reforzamiento por el método de recrecido, pero si tiene parámetros para identificar el tipo de sistema estructural.

Para aplicar el método de recrecido, se recomienda utilizar concreto reforzado con aditivos Sika, ya que ofrecen una mejor adherencia y un mejor comportamiento a diferencia de los concreto de microhormigones fluidos y concretos lanzados.

Al utilizar el método de recrecido como alternativa de reforzamiento estructural, se recomienda realizar todos los controles técnicos necesarios, en especial los controles de calidad del concreto, para garantizar que la estructura cuente con todas la medidas de confianza posibles.

A la hora de realizar un estudio de rehabilitación estructural, se recomienda utilizar la guía para la supervisión, ya que facilita el trabajo de identificación de fallas y daños potenciales perjudiciales para las estructuras.

En Colombia a pesar de que existen diferentes aditivos para el concreto, se recomienda utilizar productos Sika debido a su facilidad de acceso y sus óptimos resultados.

Referencias

- Ayala J. y Girardo M. (2018). *Estudio del método de recrecido en concreto armado para el refuerzo de vigas y columnas de una edificación*. (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá. D.C. Colombia.
- Cantillo Y. (2013). *Elaboración de una guía de modelos y procedimientos para el diseño de elementos estructurales acorde a la NSR-10 Colombiana*. (Tesis de pregrado). Universidad de la costa. Barranquilla, Colombia.
- Cantoni, N. (2009). Revista Argentina de Humanidades y Ciencias Sociales. Obtenido de Revista Argentina de Humanidades y Ciencias Sociales. Recuperado de:
http://www.sai.com.ar/metodologia/rahycs/rahycs_v7_n2_06.htm
- Del Rio Bueno A. (2008). *Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación*. (Tesis de pregrado). Universidad politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Garzón J. y Landin M. (2017). *Manual de Técnicas para rehabilitación y reforzamiento en columnas y vigas de hormigón armado deterioradas por agentes mecánicas*. (Tesis de pregrado) Universidad de Cuenca, Cuenca, Azuay. Ecuador.
- Godoy L. (2005). La mecánica avanzada de materiales como disciplina. Recuperado de:
<http://academic.uprm.edu/~lgodoy/courses/INCI6017/1%20Introduccion/elementos%20estructurales.pdf>
- Graciani García, A. (octubre de 2000). Hacia el nacimiento de la historia de la construcción. Origen y devenir de una ciencia. Recuperado de:
http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC3_053.pdf
- López, Rodríguez, Cruz, Torreño, y Ubeda (2004). El lenguaje de las grietas patología y recalces de las cimentaciones. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Montejo Fonseca, A. (2013). Tecnología y patología del concreto armado. Bogotá D. C., Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Mora, S. y Garay, A. (2016). Columnas. *arquba.com*. Recuperado de:
<http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/columnas/>

Norma sismo resistente NSR-10 (2012). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Recuperada de: <https://camacol.co/informacion-tecnica/nsr-10>

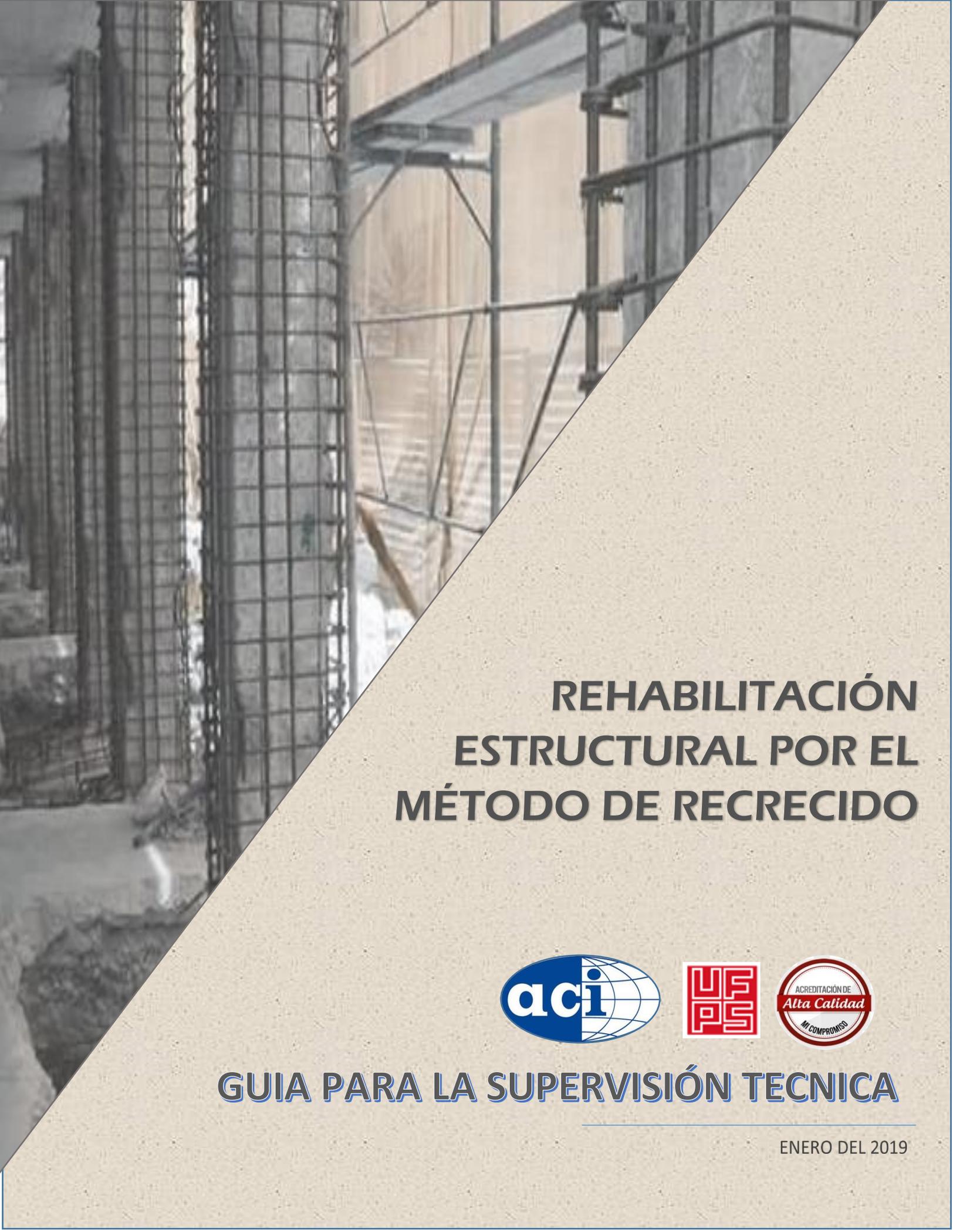
OVACEN (2016). Historia de la vivienda a través del tiempo. Ovacen.com. Recuperado de:
<https://ovacen.com/historia-de-la-vivienda-a-traves-del-tiempo/>

Paulo H. y Pereira F. (2005). Manual de rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y protección. Recuperado de: <https://civilgeeks.com/2013/11/03/manual-de-rehabilitacion-de-estructuras-de-hormigon-reparacion-refuerzo/>

Rodríguez García F. (s.f.). Rehabilitación de estructuras de hormigón: técnicas y sistemas. Recuperado de: https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/17435/1/RE_Vol%2028_06.pdf

Rincón Puigvert J.A. (2014). *Estudio experimental del comportamiento resistente y en servicio de encepados de pilotes reforzados mediante recrido de hormigón armado*. (Tesis de Posgrado). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.

Sika Colombia S.A.S. (2017). *REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*. (Cuarta Edición División Construcción). Recuperado de:
<https://col.sika.com/.../Folleto%20Reforzamiento%20Estructuras%20de%20Concreto...>



REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE RECRECIDO



GUIA PARA LA SUPERVISIÓN TÉCNICA

ENERO DEL 2019

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION.....	1
2. GENERALIDADES.....	1
2.1 CLASIFICACION DE PATOLOGIAS PRESENTES EN ESTRUCTURAS.....	1
2.1.1 Daños por fuego.....	1
2.1.2 Manifestaciones de acciones físico-mecánicas.....	1
2.2 FALLAS TIPICAS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	3
2.2.1 Daños por flexión en vigas.....	3
2.2.2 Daño por defectos locales o falta de refuerzo transversal.....	4
2.2.3 Daños cerca de los nudos para vigas y columnas.....	4
3. EVALUACION DE CONDICIONES EXISTENTES DE LA EDIFICACIÓN.....	5
3.1 INVESTIGACIÓN PRELIMINAR DE LA EDIFICACIÓN A DIAGNOSTICAR.....	5
3.1.1 Instrumento de calificación.....	5
3.2 DIGNOSTICO VISUAL.....	7
3.2.1 Criterios de inspección estructural.....	7
4. METODOLOGIA PARA LA SUPERVISION DEL RECRECIDO EN HORMIGON ARMADO.....	9
4.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL RECRECIDO EN HORMIGON ARMADO.....	9
4.1.1 Proceso constructivo para el recrecido de columnas en hormigón armado.....	10
4.1.2 Proceso constructivo para el recrecido de vigas en hormigón armado.....	12
4.1.3 Proceso constructivo para el recrecido de losas en hormigón armado.....	13
5. ADHERENCIA.....	15
6. ARMADO DE ACERO DE REFUERZO PARA RECRECIDO EN HORMIGÓN.....	15

1. INTRODUCCION

Una estructura proporciona resistencia con márgenes de seguridad a lo largo de su vida útil, posteriormente es frecuente intervenir estructuras ya construidas a fin de verificar, mantener, restituir y/o mejorar su capacidad resistente.

El recrecido del hormigón para losas macizas, columnas y vigas, es un método convencional, eficaz y económico, que mejora la resistencia de la edificación.

La nsr-10 define supervisar, como dar cumplimiento a requisitos y propósitos de planos y especificaciones. La guía práctica se proporciona como una herramienta útil para los profesionales dedicados a la rehabilitación de estructuras existentes.

2. GENERALIDADES

Para llevar a cabo la supervisión en la rehabilitación de estructuras que requieren de un refuerzo estructural para mejorar su capacidad portante y prolongar su vida útil, es importante tener un conocimiento previo de las patologías y los tipos de fallas que conllevan a considerar la necesidad de reforzar una edificación.

2.1 CLASIFICACION DE PATOLOGIAS PRESENTES EN ESTRUCTURAS

2.1.1 Daños por fuego. Este tipo de daños, en general aplica para todos los materiales y el grado de afectación depende de su propagación. En las estructuras de concreto reforzado, este tipo de daños se presentan por fallas eléctricas o de gas, y producen una pérdida de resistencia y

rigidez del material, lo que las hace vulnerable al daño por altas temperaturas.

El deterioro que el fuego ocasiona en una estructura, se prolonga dependiendo de la duración a la que es expuesta al calor. Un ejemplo más claro se observa en la siguiente ilustración.

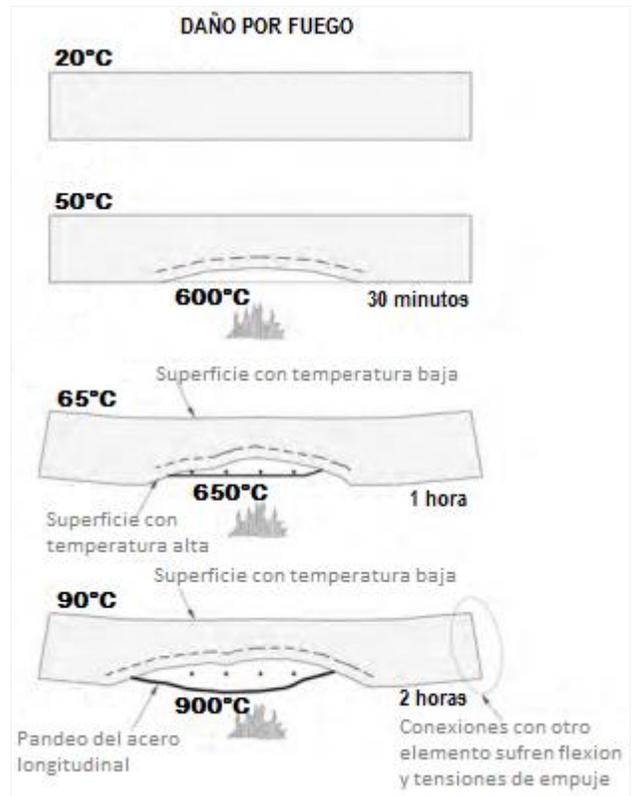


Ilustración 1. Daños por fuego.

2.1.2 Manifestaciones de acciones físico-mecánicas. Las acciones físico-mecánicas dependen de distintas variables que dejan vulnerables los elementos estructurales poniendo en riesgo de colapsar a la edificación.

Las acciones físico-mecánicas, se clasifican en distintas patologías, las cuales se enumeran a continuación:

1- Cambios de volumen por retracción y flujo plástico. Todos los materiales se relajan bajo carga, con el tiempo. Este fenómeno de flujo a largo plazo, sucede lentamente, aumenta paulatinamente las deformaciones elásticas iniciales y puede afectar los elementos estructurales y no estructurales, especialmente cuando los movimientos adicionales se encuentran con restricciones. (FOPAE, 2011).

El concreto, además, se contrae a medida que el agua de la mezcla reacciona químicamente con el cemento, aún después de haber iniciado el proceso de fraguado y haber ganado resistencia y dureza. Si el elemento tiene restricciones ante esta contracción, puede fisurarse severamente.

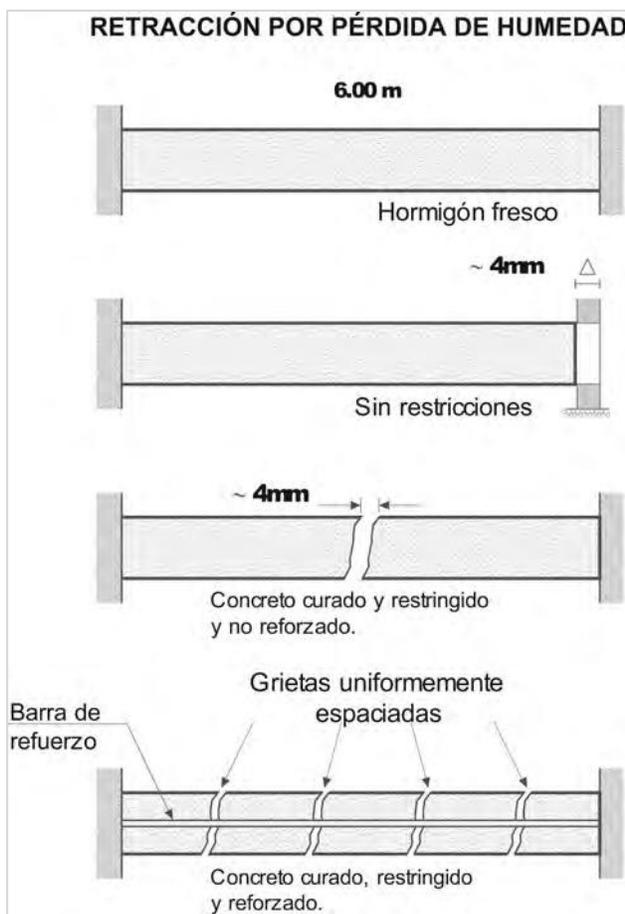


Ilustración 2. Retracción por pérdida de humedad. Fuente: FOPAE 2011

2- Asentamiento relativo entre apoyos.

Corresponde a los cambios relativos en las condiciones mecánicas del suelo, ya que también está expuesto a deformarse bajo cargas, de manera que todo apoyo es susceptible de sufrir asentamientos a medida que la edificación se va cargando completamente.

Características

- Fisuras de ancho variable.
- La longitud de fisura se deduce en plantas superiores.



Ilustración 3. Asentamientos. Fuente: FOPAE 2011

3- Deformaciones bajo cargas estáticas.

Corresponden a la acción de cargas exteriores que no fueron contempladas en el diseño estructural de una edificación, como también las cargas prematuras luego de construida la estructura.

El concreto reforzado, por naturaleza debe fisurarse para que el acero pueda tomar las tensiones de tracción, aún en el intervalo elástico de su comportamiento. Estas fisuras, por lo tanto, no son necesariamente dañinas

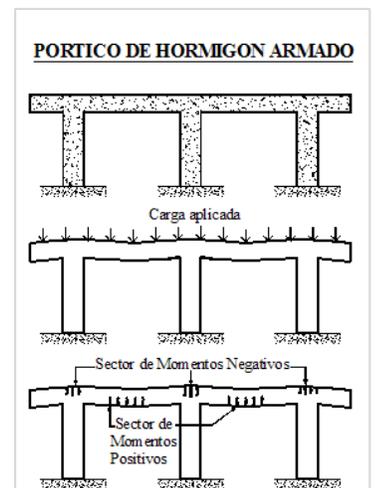


Ilustración 4. Pórtico Fuente: Helene P. Pereira F. (2003)

4- Tracción axial. Este tipo de solicitación es poco frecuente en elementos de hormigón armado y se presenta, si no se han realizado las verificaciones correspondientes a los estados últimos de utilización.

El hormigón posee un buen comportamiento mecánico cuando está solicitado a la compresión pero no ocurre lo mismo si se lo solicita a la tracción. Las tensiones que puede resistir un hormigón traccionado están en el orden del 10% de las de compresión. Por esta razón y por la dificultad en contar con un hormigón sin fisuras, se desprecia, en los cálculos de secciones de hormigón armado, la pequeña resistencia a la tracción. Sin embargo esta pequeña resistencia de hormigón a la tracción debe ser tenida en cuenta en las verificaciones de fisuración y deformación, que forman parte de lo que denominamos estados límites de utilización o servicio.

5- Compresión axial. Las cargas de compresión concentradas, como por ejemplo la introducción de la carga de una columna en una base, la introducción de una fuerza de pretensado, etc., pueden generar fisuras de tracción de dirección paralela a los esfuerzos de compresión. El efecto es similar al fenómeno de hendimiento que provoca la rotura de las probetas cilíndricas en el ensayo denominado resistencia a la compresión. Las fallas típicas se observan en la siguiente ilustración.

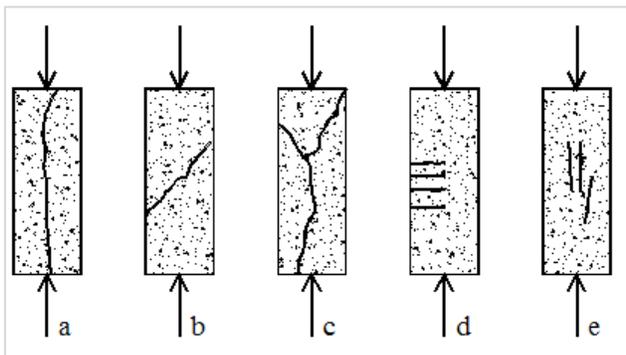


Ilustración 5. Fallas de resistencia a la compresión.

Fuente: Helene P. Pereira F. (2003)



Fotografía 1. Falla en columna.
Fuente: Helene P. Pereira F. (2003)

Falla típica de columna sometida a compresión axial.

Causa: Falta de resistencia del concreto para las cargas a la que está sometida.

2.2 FALLAS TÍPICAS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Independientemente de las distintas patologías que pueda presentar una estructura cuando presenta fallas, en este numeral de la guía, se describen los daños que sufren los elementos estructurales, en cuanto a su clasificación y severidad de daño, como también a criterios y apariencia típica del daño.

2.2.1 Daños por flexión en vigas. Este tipo de daños, produce fisuración en la estructura, que se clasifica según su severidad, en donde las condiciones extremas para el colapso de la estructura se presentan cuando las fisuras son mayores 6mm, la viga se pandea y sufre una expulsión del material dejando el acero expuesto.

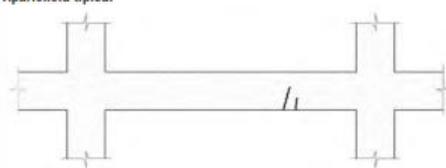
DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
Ninguno / Muy leve	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras verticales o con inclinación leve En cualquier lugar de la longitud, pero no cerca al nudo. Ancho variable Apertura máxima a nivel de la armadura de tracción <p>Apariencia típica:</p> 
Leve	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. <p>Apariencia típica:</p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
Moderado	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. <p>Apariencia típica:</p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
Fuerte	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. <p>Apariencia típica:</p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
Severo	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. Expulsión de material Posible pandeo de refuerzo longitudinal. <p>Apariencia típica:</p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas y deterioro evidente del material alrededor de la grieta.</p>

Tabla 1. Daño por flexión en vigas.

Fuente: FOPAE 2011

Para este tipo de fallas las fisuras toman distintas inclinaciones en como se aprecia en la fotografía 2, fallo muy grave, la rotura puede ser muy rápida.



Fotografía 2. Falla a flexión en viga.

Fuente: Helene P. Pereira F. (2003)

2.2.2 Daño por defectos locales o falta de refuerzo transversal. Este tipo de fallas no común, pero se presenta cuando no se tiene un buen control en obra y no se realizan el armado y figurado de acero, según las especificaciones de diseño.

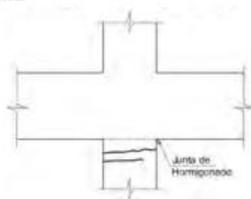
DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
Ninguno / Muy leve	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras horizontales cercanas al nudo. No necesariamente alrededor de toda la sección. <p>Apariencia típica:</p> 
Leve	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. <p>Apariencia típica:</p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
Moderado	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. <p>Apariencia típica:</p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
Fuerte	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. <p>Apariencia típica:</p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
Severo	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. Expulsión de material Posible pandeo de refuerzo longitudinal. <p>Apariencia típica:</p> <p>Fisuras más anchas, deterioro del concreto y posible apertura o rotura de ganchos de estribos.</p>

Tabla 2. Daños por defectos en columnas.

Fuente: FOPAE 2011

2.2.3 Daños cerca de los nudos para vigas y columnas. Este tipo de fallas, se debe a inconsistencias en el diseño y en el acero de refuerzo utilizado, como también a las sobrecargas aplicadas que superan la resistencia máxima establecida por diseño.

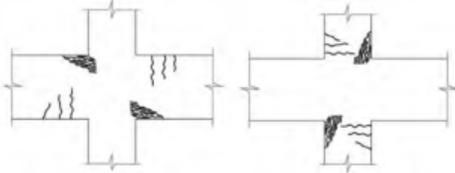
DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
Ninguno / Muy leve	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ninguna o fisuras imperceptibles. Fisuras de flexión paralelas, en caras opuestas del nudo Fisuración fina o deslaminación del concreto en caras opuestas del nudo. <p>Apariencia típica:</p> 
Leve	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. <p>Apariencia típica: Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
Moderado	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. <p>Apariencia típica: Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
Fuerte	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. <p>Apariencia típica: Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
Severo	<p>Criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. Expulsión de material Posible pandeo de refuerzo longitudinal. <p>Apariencia típica: Fisuras más anchas, deterioro del concreto y posible apertura o rotura de ganchos de estribos.</p>

Tabla 3. Daños que aplica para vigas y columnas.

Fuente: FOPAE 2011

3. EVALUACION DE CONDICIONES EXISTENTES DE LA EDIFICACIÓN

3.1 INVESTIGACIÓN PRELIMINAR DE LA EDIFICACIÓN A DIAGNOSTICAR

3.1.1 Instrumento de calificación. El instrumento es una herramienta que genera una calificación y diagnóstico de la edificación en la investigación preliminar. Esto, a través de un análisis cualitativo que determina el peso o valor

de las variables según el nivel de priorización (crítico, activo, pasivo e indiferente), valor que se discretiza en razón a los determinantes encontrados para cada variable en los títulos A, B, C Y H del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, de esta manera se obtiene la calificación de la edificación.

Por medio de tablas, se verificaran los requisitos para esta fase de documentación y reconocimiento del tipo de estructura a rehabilitar.

Localización geográfica

1. NOMBRE DEL PROYECTO		
Paciente Fecha	Bodegas Polyuprotec Junio de 2013	0,01
2. LOCALIZACION GEOGRAFICA		
Dirección	Bogota, D.C.	0,06
Ciudad	Intermedia	Se toma el valor de la tabla 1, variable 2, de acuerdo con la zona sísmica, según tabla A.2.3,2 NSR-10 Grado de disipación de energía tabla A.3-1/ A.3,4
Zona de amenaza sísmica	DMO	
Grado de disipación de energía		

Tabla 4. Localización edificación.

La localización geográfica, se especifica según la ubicación de la edificación y los estudios de microzonificación sísmica del país. La norma NSR-10 considera la tabla A.2.3-2 los movimientos sísmicos en función de la aceleración pico efectiva, por lo tanto para la zona de amenaza sísmica se tiene:

2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	Ciudad	Ninguna		Zona de Amenaza Sísmica Tabla A.2.3-2 Nsr-10
	Zona de Amenaza Sísmica	Alta	100%	
		Baja	0	

Tabla 5. Valor de la variable localización geográfica.

Tipo de estructura

El tipo de estructura se califica según el tipo de cimentación, el tipo de suelo y el sistema estructural. Ver tabla 6, 7, y 8.

3. REVISIÓN DEL PROYECTO ORIGINAL Y REGISTROS DE CONSTRUCCIÓN			
NO			
4. TIPO DE ESTRUCTURA			
4.1 Tipo de cimentación	Superficial	0,11	
4.2 Tipo de suelo	Lacustre Aluvial 200	0,065	0,014
		0,065	0,065
4.2 Sistema estructural	Porticos	0,10	0,02
Grupo de uso	IV - Edificaciones	1,0	0,10
Coefficiente de importancia	1,0		

Tabla 6. Tipo de cimentación.

El valor del tipo de cimentación se discretiza según título H-NRS - 10

Toda cimentación debe soportarse sobre el terreno de forma adecuada para sus fines de diseño, construcción y funcionamiento.

4.1 Tipo de Cimentación	Seleccione el tipo de cimentación	Superficial	25%	Titulo H.4 NSR 10
		Profunda	50%	
		Compenada	100%	

Tabla 7. Valor de la variable Tipo de cimentación

Con relación al tipo de suelo y el tipo de cimentación, se relacionan según la norma NSR-10, específicamente en el Título H, capítulo H.2 y H.4, respectivamente.

Tipo de Suelo	Lacustre	100%	Suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresibles.
	Aluvial	50%	Suelos de mediana a alta capacidad portante poco compresibles, susceptibles a licuación e inestables en excavaciones a cielo abierto.
	Piedemonte	25%	Suelos de alta capacidad portante pero pueden presentar problemas de inestabilidad en excavaciones abiertas.
	Cerros	0%	Rocas competentes y resistentes a la meteorización, eventuales problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas o con intercalaciones de arcillolitas blandas.
	Depósito Ladera	75%	Suelos de mediana capacidad portante susceptibles a problemas de estabilidad de taludes.

Tabla 8. Valor de la variable Tipo de suelo.

Sistema estructural

La valoración del sistema estructural depende de los tipos de sistema estructural que varían según la resistencia sísmica (A.3.2 NSR-10), el grupo de uso y el coeficiente de importancia. De esta forma se discretiza el valor de la variable de acuerdo a la siguiente tabla.

4.2 Sistema estructural	Pórticos Muros Combinado Dual	25% 50% 75% 100%
-------------------------	----------------------------------------	---------------------------

Tabla 9. % según el tipo de sistema estructural.

Grupo de Uso	IV - Edificaciones Indispensables	100%
	III - Edificaciones de Atención a la Comunidad	75%
	II - Estructuras de Ocupación Especial	50%
	I - Estructuras de Ocupación Normal	25%

Tabla 10. Valor de la variable Grupo de Uso.

Historia de la estructura

7. HISTORIAL DE LA ESTRUCTURA			
7.1 Fechas de diseño y correspondencia entre códigos y normas			
Fecha de Construcción Normativa Vigente	Antes de Dic. de 1984		
	Antes de Feb. de 1998		
	De Feb. de 1998 a Feb. de 2010		
	De 2010 a la actualidad		
7.2 Construcción y puesta en servicio			
Año de construcción y puesta en servicio	1974	Año Actual	2014
7.3 Vida Útil proyectada			
40	Años	Ha tenido algún tipo de Mantenimiento	Si
		Indique el número de mantenimientos conocidos	3
Antecedentes de la edificación con la Norma Vigente			

Tabla 11. Historia de la estructura.

Según la historia de la estructura, se determina el valor de la variable de acuerdo a la fecha de construcción mediante la siguiente tabla.

Fecha de Construcción	Antes de Dic. de 1984	Ninguna	100%
	Antes de Feb. de 1998	Decreto 1400	75%
	De Feb. de 1988 a Feb. de 2010	NSR - 98	50%
	De 2010 a la actualidad	NSR - 10	25%

Tabla 12. Valores de las variables de acuerdo a la fecha de construcción.

Fuente: <https://issuu.com/patriciadiaz2/docs/>

3.2 DIGNOSTICO VISUAL

3.2.1 Criterios de inspección estructural. Los criterios que se muestran a continuación por medio de figuras, representan la caracterización realizada en campo para determinar las fallas y las dimensiones de las mismas.

Características de la estructura

La siguiente ilustración, representa el formato necesario para dejar por escrito los resultados de la inspección visual, en donde las casillas en blanco se deben marcar con una “x” según corresponda a la caracterización.

Características de la estructura		
Sistema estructural:		
<input type="checkbox"/>	Muros de carga	
<input type="checkbox"/>	Portico de concreto	
<input type="checkbox"/>	Portico de acero	
<input type="checkbox"/>	Combinado	
<input type="checkbox"/>	Sistema Dual	
Material de los muros		
<input type="checkbox"/>	Concreto reforzado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Concreto prefabricado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Bloque de concreto (macizo)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Bloque de concreto	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Ladrillo de barro macizo	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Ladrillo de arcilla hueco	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Paneles con capa de mortero	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>		Madera
<input type="checkbox"/>		Piedra
<input type="checkbox"/>		Adobe
<input type="checkbox"/>		Bahareque (ramas/lodo)
<input type="checkbox"/>		Materia precario (débil: lámina/cartón/desecho)
<input type="checkbox"/>		Otro

Ilustración 6. Características de la estructura.

Sección de elementos predominantes

Posterior a la caracterización de la estructura, en la siguiente ilustración, se observa el registro de dimensiones junto con la clasificación de elementos estructurales y respectivamente el material que le corresponde.

Sección de elementos predominantes		Materiales
	b h	
Columnas	<input type="text"/>	Concreto reforzado
Vigas	<input type="text"/>	Concreto prefabricado
Vigas Secundarias	<input type="text"/>	Acero
Diagonales	<input type="text"/>	madera

Ilustración 7. Sección de elementos predominantes.

Evaluación de daños

Se alude a problemas geotécnicos y colapso de la estructura.

Problemas geotécnicos	
<input type="checkbox"/>	Grietas en el terreno circundante
<input type="checkbox"/>	Hundimientos diferenciales
<input type="checkbox"/>	Deslizamiento de ladera
<input type="checkbox"/>	Socavación o Erosión
<input type="checkbox"/>	Licuaación de arenas
<input type="checkbox"/>	Hundimiento (-) o emersión (+) general = _____ cm
<input type="checkbox"/>	Inclinación del edificio: _____ %

Ilustración 8. Problemas geotécnicos.

4. METODOLOGIA PARA LA SUPERVISION DEL RECRECIDO EN HORMIGON ARMADO

Dado a la escasa información normativa vigente en el territorio colombiano con relación a la rehabilitación de estructuras por medio del recrecido de hormigón armado, se optó por usar los lineamientos de la norma ACI 562, ya que describe muchas de las pautas para realizar el proceso constructivo.

4.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL RECRECIDO EN HORMIGON ARMADO

Como se describe en la ilustración 11, cuando se tenga el acero expuesto, se debe retirar el concreto adherido al mismo, para dejar libre de contaminación el acero expuesto, posteriormente se procede a realizar los amarres y el figurado del acero a añadir para la estructura y por último se vierte concreto.

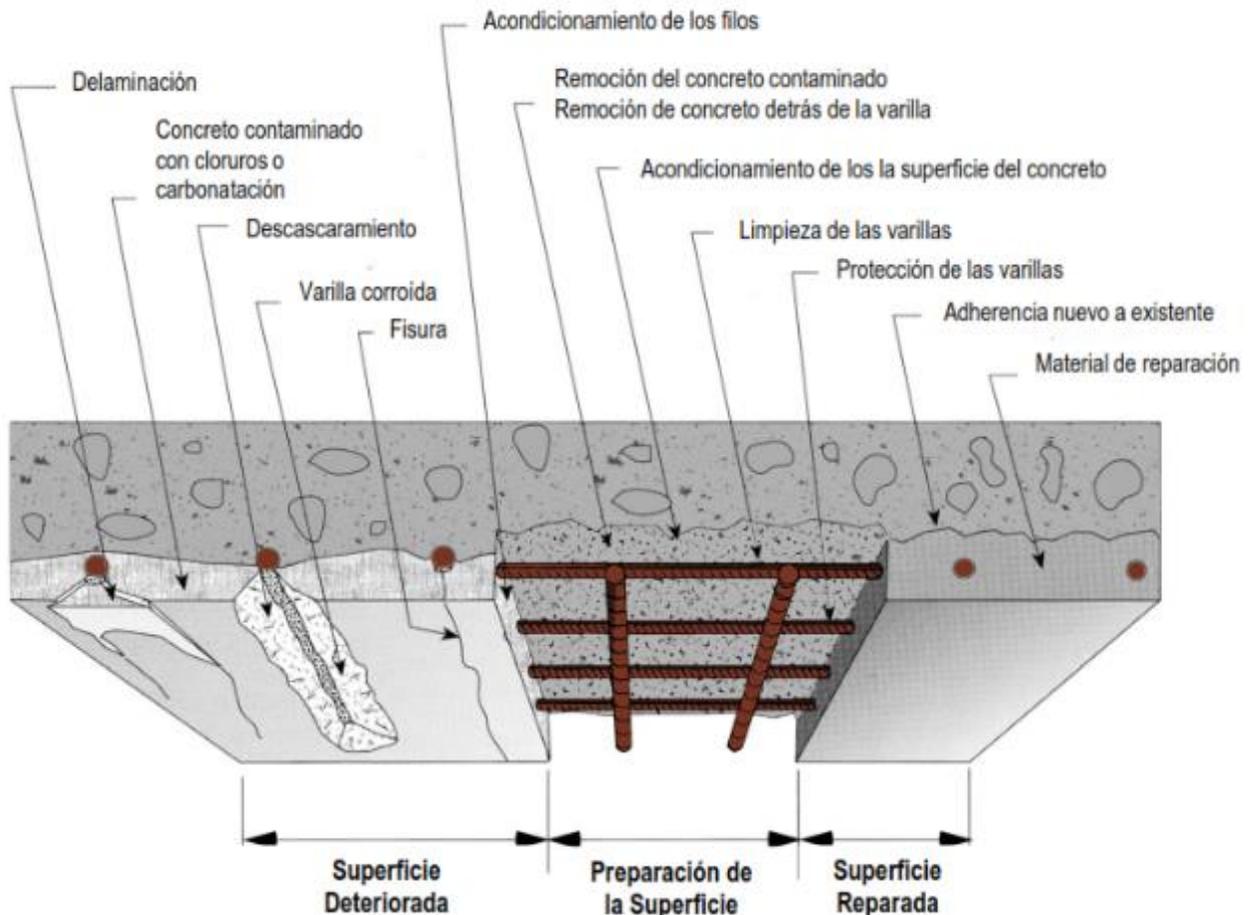


Ilustración 11. Procedimiento recrecido hormigón armado.

4.1.1 Proceso constructivo para el recrecido de columnas en hormigón armado. Esta técnica proporciona más resistencia, así como un aumento en la rigidez. Dado a la adherencia de concreto viejo con concreto nuevo, es indispensable el uso de aditivos para garantizar un buen comportamiento del elemento recrecido. Ver ilustración 12.

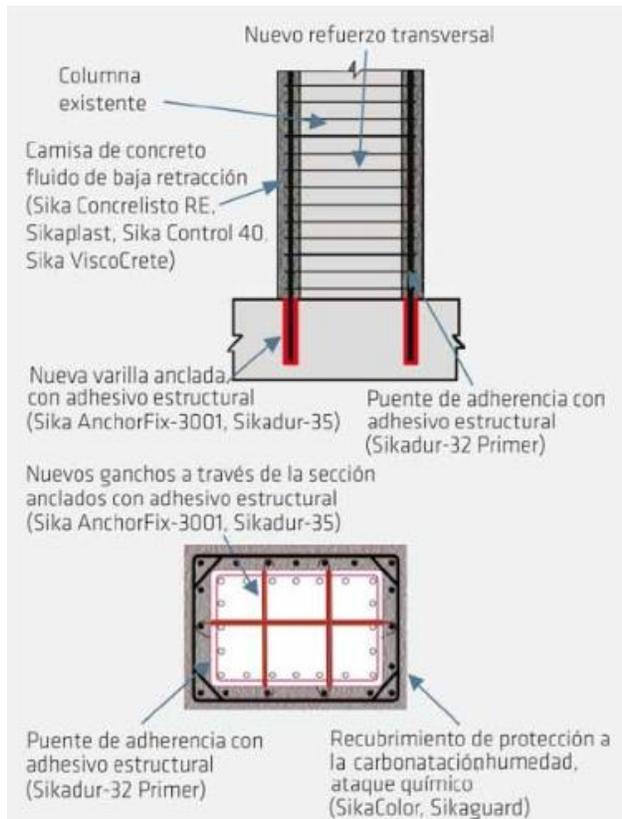


Ilustración 12. Recreido de columna.
Fuente: Folleto Construyendo confianza SIKA

Recreido con microhormigón fluido.

Cuando el espesor en la sección transversal es = 6cm utilizar mortero fluido de base cemento y cuando el espesor en la sección transversal es = 30cm utilizar microhormigón fluido.

Procedimiento. Desbastar las aristas y eliminar todo el hormigón dañado del núcleo de la columna original. Escarificar o erosionar (con chorro de arena) la superficie de hormigón viejo

para mejorar la adherencia tanto de la columna como de la viga, la losa y el cimiento. El sustrato debe estar seco y sobre él debe ser aplicado el puente de adherencia, adhesivo base epoxi (de baja viscosidad).

Aplicación. Debe estar conforme al diseño. Perforar las losas o cimientos para anclar las barras longitudinales a una profundidad = 6 cm. Limpiar las perforaciones en seco y fijar las barras longitudinales en los estribos, tanto para mantenerla a 1.5 cm de núcleo como para garantizar un recubrimiento mínimo de 1.5 cm. ajustar las cimbras en tramos de altura máximo 1,10 m. retirarlas y aplicar el puente de adherencia, adhesivo epoxi (de baja viscosidad).

Recolocar la cimbra y verter el mortero fluido de base cemento o microhormigón fluido. Descimbrar pasadas 48 horas, y repetir la operación en el tramo superior. En el último tramo el material deberá ser vertido a través de los orificios practicados a la losa.

Curado. Húmedo por 7 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo inmediatamente después de descimbrar.

Recreido con hormigón

Alcance. Cualquier dimensión siempre y cuando sea mayor que ≥ 6.0 cm.

Procedimiento. La superficie debe estar seca, se debe aplicar un adhesivo para la interacción concreto viejo-nuevo, de base epóxi (de baja viscosidad).

Preparación. Relación agua total/cemento = 0.50; revenimiento de 10 a 15 cm aditivo superplastificante y tamaño máximo del agregado grueso igual a 1/4 de menor dimensión de la pieza.

Aplicación. Debe estar conforme al diseño. Perforar las losas o cimientos para anclar las

barras longitudinales a una profundidad =6 cm. limpiar las perforaciones a seco y fijar las barras longitudinales con expansor de anclaje de base poliéster (tixotropico) colocar separadores en el acero de refuerzo longitudinal y en los estribos, tanto para mantenerlo a 2.0 cm del núcleo coma para garantizar un recubrimiento mínimo de 2.0

cm. Retirarlos y aplicar el puente de adherencia, adhesivo epoxi (de baja viscosidad) recolocar la cimbra y verter el hormigón, compactándolo bien. Emplear desmoldante descimbrar después de 48 horas y repetir la operación en el tramo superior. El último tramo no debe tener una altura superior a 30 cm y el hormigón deberá ser vertido a través de los orificios practicados a la losa. En caso que esto último no sea posible, entonces se debe realizar un relleno a una altura no superior a 8 cm con mortero seco del tiro mortero base cemento, conforme lo descrito en este Manual.

Recrecio con hormigón lanzado.

Alcance. Cualquier dimensión ≤ 5.0 cm

Preparación. Agregado grueso con tamaño máximo característico 19 mm; dosificación en masa de 1 de cementa para, 2 a 2.5 de arena y agregados gruesos; relación agua total/cemento de 0.35 a 0.50. Podría ser usado el material premezclado para hormigón lanzado, que minimiza y facilita las operaciones en el lugar.

Aplicación. Debe estar conforme al diseño. Perforar las losas o cimientos para anclar las barras longitudinales con una profundidad = 6 cm. Limpiar las perforaciones a seco y fijar las barras longitudinales con expansor de anclaje de base poliéster (tixotropico) colocar separadores en el acero de refuerzo longitudinal y en los estribos, tanto para mantenerla a 2.0 cm del núcleo como para garantizar un recubrimiento mínimo de 2.0 cm.

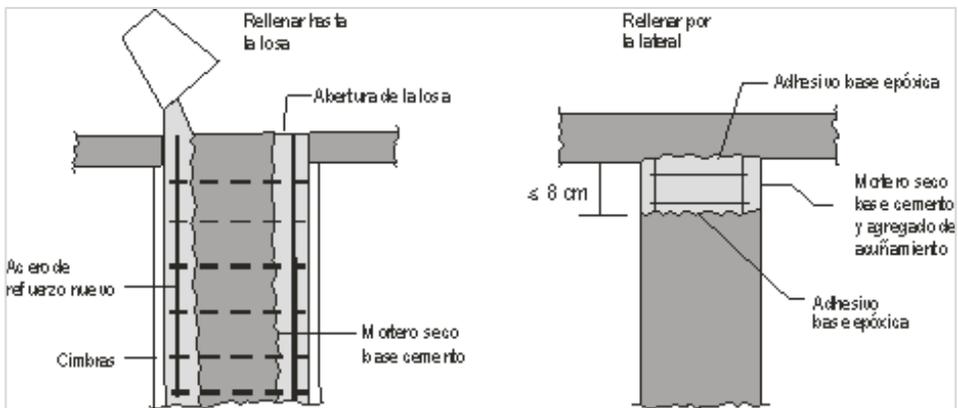


Ilustración 13. Refuerzo en hormigón armado.

Curado. Saturado de agua por 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo, inmediatamente después de descimbrar. En las primeras 36 horas evitar la radiación solar directa tapando la superficie.

Curado. Húmedo por 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola. En las primeras 36 horas evitar la radiación solar directa tapando la superficie.



Ilustración 14. Refuerzo en hormigón lanzado 13
Fuente: <http://imcyc.com/images/CONCRETO%20LANZADO/?C=M;O=A>

4.1.2 Proceso constructivo para el recrecido de vigas en hormigón armado. Al igual que para el recrecido en columnas, se aplican los mismos procedimientos para el recrecido en vigas, teniendo en cuenta que el refuerzo en vigas trabaja a flexión.

Recrecido con microhormigón fluido

Alcance. Refuerzos donde la mayor dimensión de la sección no supera los 30 cm.

Sustrato hormigón demolido con la superficie preparada en pendiente 3 a 1, escarificado y seco, aplicando el puente de adherencia formado por un adhesivo de base epoxi de baja viscosidad directamente al sustrato seco.

Preparación: en una mezcladora mecánica adicionar agua al microhormigón con relación agua/polvo de 0.12 a 0,14, durante 3 minutos. Mezclar y homogeneizar por otros 3 minutos.

inferior y fijarlos con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Colocar el nuevo acero de refuerzo longitudinal distanciado del existente aproximadamente 1 cm en la vertical y 2 cm en la horizontal. Fijar las puntas del acero de refuerzo longitudinal a los pilares con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico), con una longitud de anclaje indicada por el proyecto, mínima de 5cm.

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

Curado. Húmedo por 7 días o dos manos de adhesivo de base acrílica (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo. En las primeras 30 horas evitar la exposición solar directa tapando la superficie.

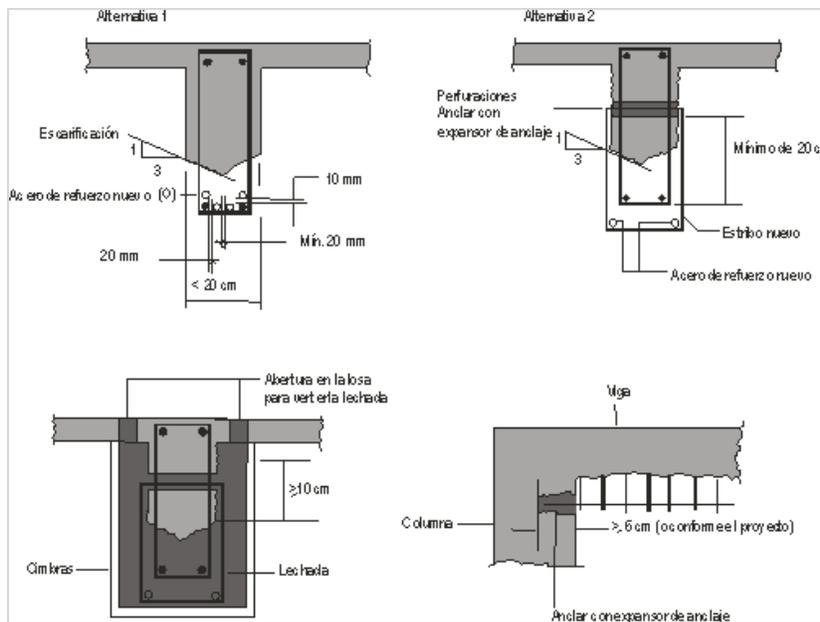


Ilustración 15. Recreido en vigas con microhormigón.

Aplicación. Conforme al diseño. Si fuera necesario habrá que perforar la viga y colocar nuevos estribos por lo menos a 20 cm de la cara

Recrecido en hormigón.

Alcance. Refuerzos con cualquier dimensión.

Sustrato. Seco, con aplicación de puente de adherencia formado por adhesivo de base epoxi (de baja viscosidad).

Preparación. Relación agua total/cemento = 0.50; revenimiento de 10 a 15 cm; aditivo súperfluidificante y tamaño máximo del agregado grueso igual a 1/5 de la menor dimensión de la pieza.

Aplicación. Conforme al diseño. Si fuera necesario habrá que perforar la viga y colocar nuevos estribos por lo menos a 20 cm de la cara inferior y fijarlos con expansor de anclaje de base poliéster (tixotrópico). Colocar el nuevo

acero de refuerzo longitudinal distanciado del existente aproximadamente 1 cm en la vertical y 2 cm en la horizontal. El hormigón debe ser colocado suavemente evitando la formación de bolsas de aire. Compactar bien con vibradores.

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

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

Recrecido en hormigón lanzado.

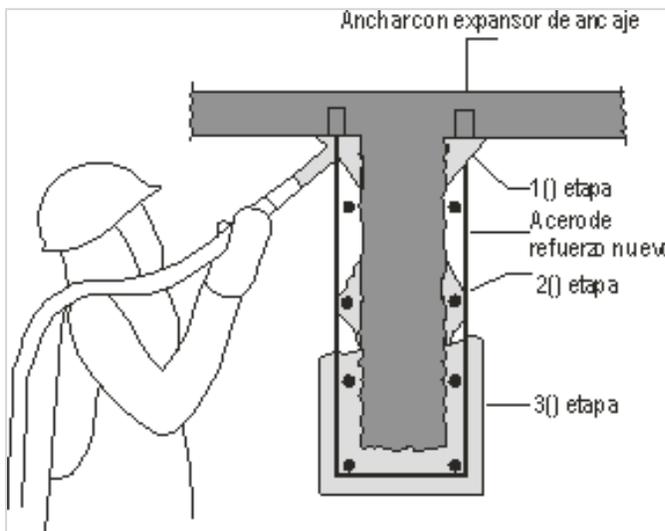


Ilustración 16. Hormigón lanzado en vigas.

Alcance. Refuerzos con cualquier dimensión.

Sustrato. Saturado y con la superficie seca sin encharcamientos.

Preparación. Agregado grueso con tamaño máximo característico = 19 mm; dosificación en masa de 1 de cemento para 2 a 2.5 de arena más agregado grueso; relación agua total/cemento de 0.35 a 0.50. Podría ser usado el material premezclado para hormigón lanzado, que minimiza y facilita las operaciones en el lugar.

Aplicación. Iniciar la aplicación de hormigón lanzado por los cantos y las cavidades, revistiendo seguidamente el acero de refuerzo. Lanzar en capas sucesivas de 5 cm de espesor, hasta alcanzar el espesor deseado. Utilizar aditivo acelerador de fraguado para disminuir el rebote y ayudar en la formación de la primera capa de hormigón. Los sobrantes de hormigón deberán ser eliminados con un enrasado.

Terminación. Con frota de madera o apenas con enrasado o incluso "a lo natural" imitando un "salpicado".

Curado. Húmedo por 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica o parafina (membrana de curado) aplicadas con pistola. En las primeras 30 horas evitar la irradiación solar directa tapando la superficie.

4.1.3 Proceso constructivo para el recrecido de losas en hormigón armado.

Recrecido de losas macizas con hormigón.

Alcance: formación de nueva capa resistente = 5.0 cm.

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

Preparación: relación agua/cemento = 0.50; revenimiento de 80 a 120 mm; aditivo plastificante y tamaño máximo característico del agregado grueso igual a 1/4 del menor espesor.

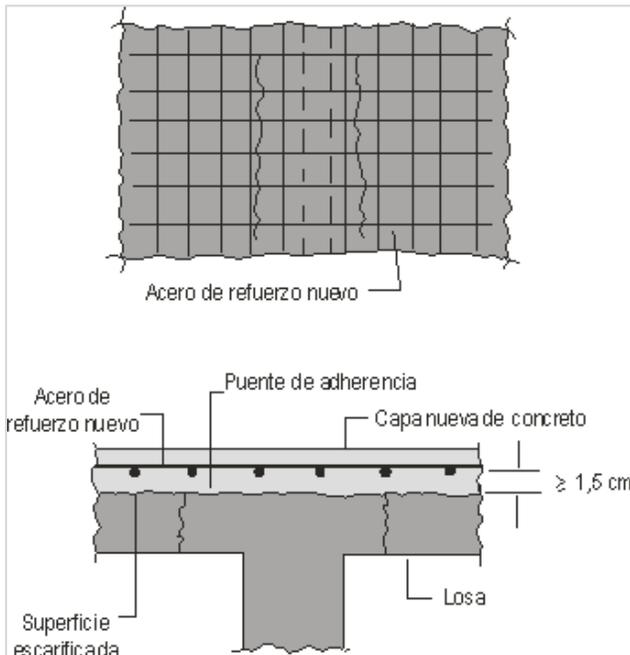


Ilustración 17. Refuerzo a flexión en losa de hormigón.

Aplicación: posicionar el acero de refuerzo debe estar conforme al diseño, y verter el hormigón respetando el tiempo de manipulación y secado del adhesivo base epoxi (de baja viscosidad). compactar correctamente.

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

Curado: húmedo durante 14 días o dos manos de adhesivo de base acrílica o parafina (membrana de curado) aplicadas con pistola, brocha o rodillo, al empezar el fraguado.

Recrido de losas macizas con hormigón lanzado.

Alcance: espesores = 10 cm.

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

Preparación: agregado grueso con tamaño máximo característico de 1/4 del menor espesor, dosificación en masa seca 1 de cemento para 2 a 2.5 de arena y agregado grueso, relación agua/cemento de 0.35 a 0.50.

Aplicación: Fijar el nuevo acero de refuerzo según el proyecto a través de tornillos embebidos en el hormigón o fijándolo al refuerzo existente.

El nuevo acero de refuerzo deberá quedar alejado por lo menos 0.5 cm de la superficie del hormigón antiguo 10 que se logra usando separadores. Verter el hormigón con equipas de aire comprimido con espesor mínimo total de 3 cm. Según el proyecto este espesor podrá aumentarse para satisfacer los requerimientos, cuando el diagnóstico del problema fuera ambiente agresivo al acero de refuerzo y si se tratara de losas apoyadas o continuas, deben ser previstos los anclajes en las extremidades, junta a las vigas, utilizándose expansor de anclaje de base poliéster (tixotropico). no emplear aditivo acelerador de fraguado. El hormigón sobrante será retirado mediante enrasamiento.

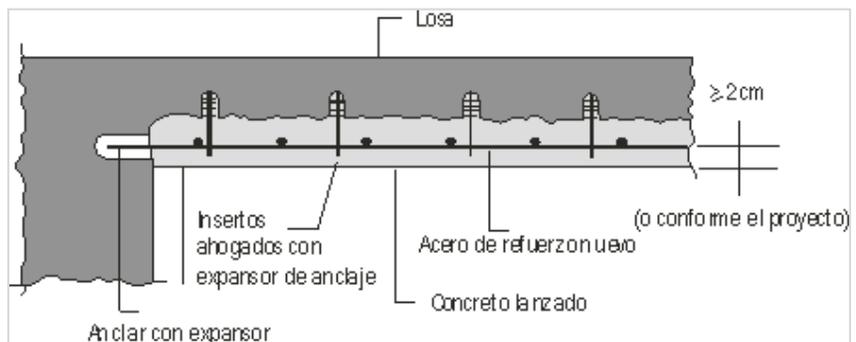


Ilustración 18. Refuerzo de concreto lanzado.

Terminación: frota de madera, o arenas enrasado, o natural como salpicado.

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

5. ADHERENCIA

En lo que compete a los cuidados que se deben tener al momento de reparar una estructura por el método de recrecido en hormigón armado, es muy importante que la reparación tenga una redundancia para mitigar la caída de la reparación en caso de que se pierda la adherencia. Ver ilustración 19.

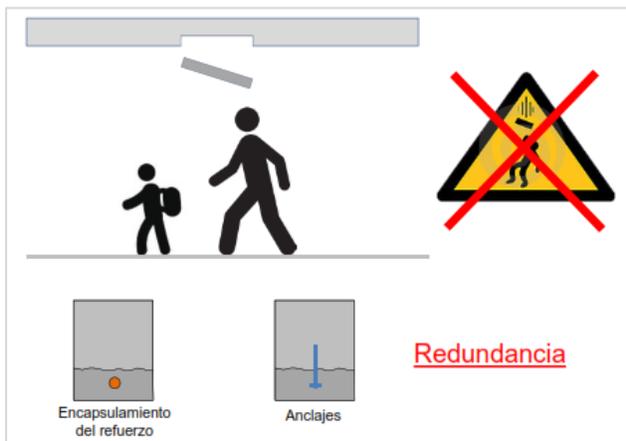


Ilustración 19. Perdida de adherencia.

Para la adherencia entre el material de reparación y el sustrato, se debe tener en cuenta que:

- Considerar las cargas que actúan en la interface.

- Especificar los requerimientos para preparar la superficie del concreto.

- Verificar que el sustrato puede resistir los esfuerzos debido a las cargas y cambios de volumen.

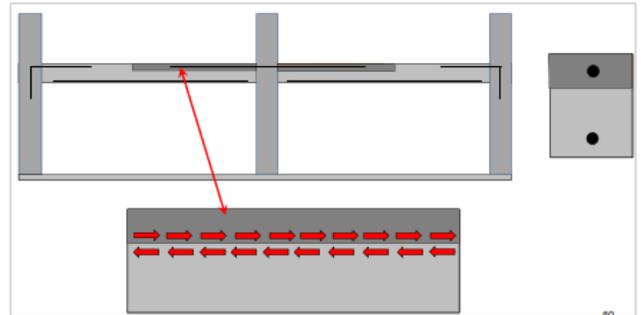


Ilustración 20. Adherencia entre concreto nuevo y viejo.

6. ARMADO DE ACERO DE REFUERZO PARA RECRECIDO EN HORMIGÓN.

A continuación mediante imágenes se representan los distintos tipos de amarres para elementos reforzados por el método de recrecido en hormigón armado.



Ilustración 21. Unión directa mediante adhesivo.



Ilustración 22. Refuerzo con zunchado helicoidal.



Ilustración 23, Conexión de armaduras mediante Horquillas.

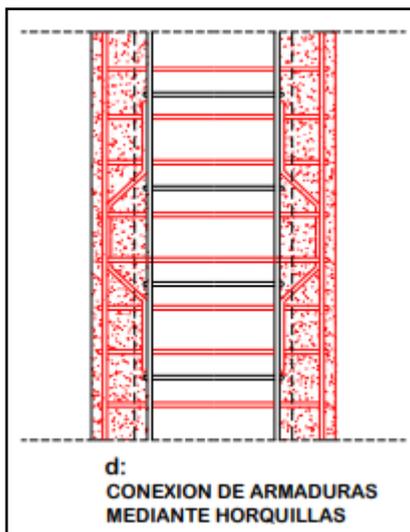


Ilustración 24. Acero de refuerzo armado mediante horquilla.

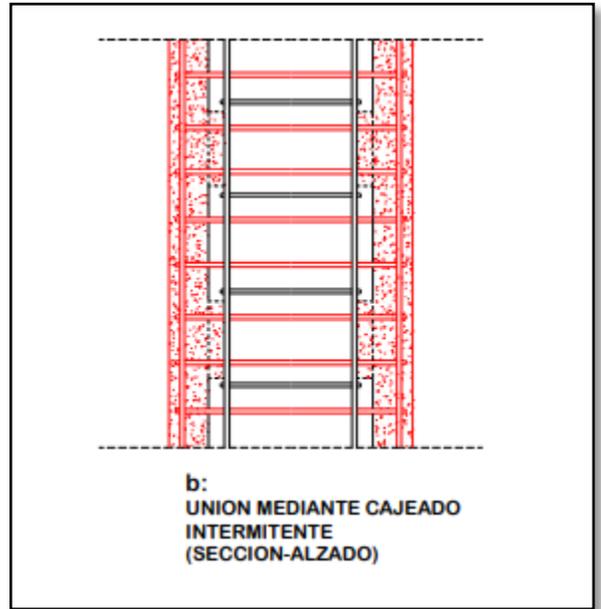


Ilustración 25. Acero de refuerzo unido mediante cajeados intermitentes.

BIBLIOGRAFIA

Rio Bueno A. (S.f.). Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación. Recuperado de: http://oa.upm.es/1159/1/LIBRO_RIO_BUENO_01.pdf

ACI 562. (2014). *Nueva norma para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto*. Perú.

Sika (s.f.). *Reforzamiento de estructuras en concreto*. Folleto construyendo confianza.

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE (2011). *Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales*

Helene P. & Pereira F. (s.f.). *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón*. Proyecto de difusión tecnológica. Editorial Rehabilitar.