RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Juan Carlos Isaza Parra Yandry Juliana Mora Contreras
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Especialización en Interventoria de Obras Civile
DIRECTOR	Libardo Augusto Trigos Ramírez
CODIRECTOR (si aplica)	Nombre completo, mayúscula al inicio de cada palabra N/A
TÍTULO DE LA TESIS	Propuesta metodológica para el seguimiento y control técnico de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, conforme a la normativa sismo resistente colombiana
TITULO EN INGLES	Methodological proposal for the monitoring and technical supervision of structural reinforcement in low-rise buildings, in accordance with Colombian seismic resistance standards

RESUMEN
(70 palabras)

El siguiente documento relaciona una guía metodológica dirigida a profesionales que se dedican al ejercicio de la Interventoria o el seguimiento y control técnico en proyectos de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, enfocado especialmente a edificaciones construidas de manera informal. El desarrollo de la guía se realizó haciendo un Analisis de los parámetros más relevantes de la norma NSR-10 y teniendo en cuenta el Decreto 1401 de 2023, en donde se actualiza la NSR-10 y se valida el documento AIS 410-23 AIS 410-23: Evaluación y reducción vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería.

RESUMEN EN INGLES

The following document outlines a methodological guide intended for professionals engaged in supervision or technical monitoring and control of structural reinforcement projects in low-rise buildings, with a particular focus on informally constructed buildings. The guide was developed by analyzing the most relevant parameters of the NSR-10 standard and taking into account Decree 1401 of 2023, which updates NSR-10 and validates document AIS 410-23: Evaluation and Reduction of Seismic Vulnerability in Masonry Dwellings.

PALABRAS CLAVES	Mampostería confinada, viga de amarre, mortero reforzado, Recrecido del concreto, Encamisado metalico
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Confined masonry, tie beam, reinforced mortar, concrete overlay, metal jacketing

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 164	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 27	CD-ROM:

Propuesta metodológica para el seguimiento y control técnico de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, conforme a la normativa sismo resistente colombiana.

Juan Carlos Isaza Parra

Yandry Juliana Mora Contreras

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Especialización en Interventoria de Obras Civiles

Mcs. Libardo Augusto Trigos Ramírez

Abril de 2026

Índice

Pág.

Capítulo 1. Propuesta metodológica para el seguimiento y control técnico de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, conforme a la norma sismo resistente colombiana....11

1.1 Planteamiento del Problema 11

1.2 Formulación del Problema..... 13

1.3 Objetivos..... 13

1.3.1 Objetivo General..... 13

1.3.2 Objetivos Específicos..... 13

1.4 Justificación 14

1.5 Delimitaciones 15

1.5.1 Geográfica..... 16

1.5.2 Temporal 16

1.5.3 Conceptual 16

1.5.4 Operativa..... 16

Capítulo 2. Marco Referencial..... 18

2.1 Marco Histórico 18

2.1.1 Antecedentes 18

2.2 Marco Contextual..... 21

2.3 Marco Conceptual..... 22

2.3.1 Reforzamiento estructural..... 22

2.3.2 Riesgo Sísmico..... 22

2.3.3 Vivienda Informal 23

2.3.4 Vulnerabilidad Sísmica 23

2.3.5 Seguimiento técnico 24
2.3.6 Sistema estructural 24
2.4 Marco Teórico 25
2.4.1 Refuerzo por adición de muros de corte 26
2.4.2 Encamisado de elementos estructurales 27
2.4.3 Refuerzo con fibra FRP 28
2.4.4 Refuerzo con malla electrosoldada y mortero 30
2.4.5 Interventoria en el refuerzo estructural de edificaciones 32
2.5 Marco Legal 33
Capítulo 3. Diseño Metodológico 36
3.1 Tipo de Investigación 36
3.2 Seguimiento metodológico del proyecto 36
3.3 Población 37
3.4 Muestra 37
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de Información 37
3.6 Analisis de información 38
Capítulo 4. Desarrollo de la Investigación 39
4.1 Identificación de los requisitos normativos del reforzamiento estructural para edificaciones de baja altura, mediante la revisión de la NSR-10 y otras referencias técnicas, con el fin de establecer lineamientos que orienten la correcta aplicación de métodos en procesos de reforzamiento 39
4.1.1 Reforzamiento según Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 40

4.1.2 Norma Americana ACI-562 Evaluación y rehabilitación de estructuras existentes 80

4.1.3 Norma Americana ACI 440 (Refuerzo con FRP) 81

4.1.4 Decreto Numero 1401 de 2023 82

4.2 Procesos de seguimiento y control técnico aplicables al reforzamiento de edificaciones de baja altura mediante la revisión de métodos, materiales y criterios de aplicación, para establecer parámetros técnicos que garanticen la seguridad y calidad de las intervenciones... 86

4.2.1 Reforzamiento con pañete reforzado en muros de mampostería 87

4.2.2 Construcción de columnas nuevas de confinamiento en muros existentes..... 92

4.2.3 Construcción de vigas de cimentación en muros existentes 94

4.2.4 Conexión de muro nuevo a losa existente..... 99

4.2.5 Refuerzo de sistema de losa con bloquelon y perfiles metálicos..... 103

4.2.6 Recrecido de vigas y columnas..... 104

4.2.7 Encamisado metálico de vigas y columnas..... 109

4.3 Guía metodológica de interventoria para el reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, mediante el uso de listas de chequeo basadas en los parámetros técnicos y normativos identificados, con el fin de garantizar la correcta supervisión de las obras y mejorar la seguridad y estabilidad de las edificaciones 110

Conclusiones..... 122

Referencias..... 124

Apéndice 133

Apéndice A. Guía metodológica para el reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura 133

Lista de figuras

Figura 1 Reforzamiento con muros de corte en estructuras existentes 26

Figura 2 Reforzamiento de columna por encamisado o recrecido de concreto 27

Figura 3 Encamisado de columna con platinas metálicas 28

Figura 4 Refuerzo con fibra de carbono CFRP 29

Figura 5 Ensayo de probetas recubiertas con fibra de carbono CFRP 30

Figura 6 Refuerzo con malla electrosoldada y mortero 31

Figura 7 Procedimiento para la evaluación de la intervención 32

Figura 8 Esquema de longitud de desarrollo en nodo viga-columna según demanda sísmica 56

Figura 9 Estribos de confinamiento paralelos y perpendiculares al gancho estándar de 90° 59

Figura 10 Esquema de reforzamiento muro con pañete reforzado y columnetas 90

Figura 11 Vista frontal técnica de pañete reforzado en muro de mampostería 91

Figura 12 Vista columna de confinamiento nueva en muro de mampostería existente 92

Figura 13 Esquema muro nuevo de mampostería confinada 93

Figura 14 Esquema de espaciamiento de flejes para viga de cimentación 95

Figura 15 Nueva viga de cimentación con muro nuevo de mampostería 96

Figura 16 Esquema de implementación viga de Cimentación TIPO II 97

Figura 17 Esquema de implementación viga de Cimentación TIPO III 98

Figura 18 Conexión de muro nuevo con losa maciza existente 99

Figura 19 Conexión de muro nuevo perpendicular a viguetas de losa aligerada existente 100

Figura 20 Conexión de muro nuevo paralelo a viguetas de losa aligerada existente 101

Figura 21 Conexión de muro nuevo paralelo y coincidente a viguetas de losa aligerada existente 102

Figura 22 Construcción de viga nueva para dar rigidez a losa existente 103

Figura 23 Tipología de recrecido de concreto para columnas 105

Figura 24 Anclaje de acero de refuerzo para recrecido de concreto en columnas 106

Figura 25 Esquema de reforzamiento por recrecido para columnas según SIKA 107

Figura 26 Método de reforzamiento por recrecido del concreto en vigas 108

Figura 27 Método de reforzamiento por encamisado metálico de vigas y columnas 109

Lista de tablas

Tabla 1 Espesor mínimo para vigas no preesforzadas o losas en una dirección 51

Tabla 2 Espesor mínimo para vigas no preesforzadas sin particiones susceptibles a dañarse 52

Tabla 3 Longitud de desarrollo para barras corrugadas sometidas a tracción 54

Tabla 4 Longitud de desarrollo según el diámetro de barra 55

Tabla 5 Longitud de desarrollo de gancho estándar en tracción según el diámetro de barra 58

Tabla 6 Actividades de inspección previas a la soldadura 65

Tabla 7 Actividades de inspección Durante la soldadura 66

Tabla 8 Actividades de Inspección sobre la Soldadura Terminada 67

Tabla 9 Actividades de inspección previas a la instalación de los pernos 68

Tabla 10 Actividades de inspección durante la instalación de los pernos 68

Tabla 11 Controles del supervisor técnico durante la ejecución de la obra 77

Tabla 12 Lineamientos para supervisión en proyectos de reforzamiento estructural 80

Tabla 13 Resistencia a la compresión de concreto reforzado existente en psi 81

Tabla 14 Limites de Aplicabilidad del Documento AIS 410-23 82

Tabla 15 Priorización de condiciones a subsanar 83

Tabla 16 Parámetros de malla electrosoldada para pañete reforzado en muros en mampostería 88

Tabla 17 Parámetros de pañete reforzado con columnetas para muros en mampostería 89

Tabla 18 Parámetros para vigas de cimentación 94

Tabla 19 Lista de verificación para el reforzamiento de viviendas según la AIS 410-23 111

Tabla 20 Lista de chequeo para la supervisión técnica en proyectos de reforzamiento 113

Tabla 21 Lista de chequeo para la supervisión técnica según métodos de reforzamiento 118

Introducción

El reforzamiento estructural de edificaciones existentes es una de las alternativas disponibles en el mercado para reducir la vulnerabilidad sísmica y se utiliza en dos casos, cuando se desea hacer una ampliación en la edificación, o cuando las condiciones actuales de la edificación ponen en riesgo la vida de sus ocupantes debido a daños o falencias en el sistema estructural existente.

El desarrollo de esta investigación se enfoca en los métodos de reforzamiento para edificaciones existentes de baja altura construidas de manera informal, teniendo en cuenta que este tipo de edificaciones se presentan en todos los centros poblados, áreas urbanas y rurales del territorio colombiano, pues según el Consejo Profesional Nacional de Arquitectura y sus Profesiones Auxiliares (2023), de acuerdo con la información del Centro de Estudios de la Construcción y el Desarrollo Urbano y Regional de Colombia (CENAC), de cada 5 unidades de vivienda, que aparecen en el mercado colombiano, 3 son de origen informal, lo que indica que son construidas sin licencia de construcción, y en la mayoría de los casos sin el cumplimiento del reglamento de construcción sismo resistente NSR-10.

En este contexto, el reforzamiento de edificaciones de baja altura en especial cuando son de origen informal, cobra relevancia para mejorar la calidad de vida y el riesgo sísmico en edificaciones existentes, por lo cual es importante contar con un seguimiento y control a la hora de ejecutar las técnicas de reforzamiento estructural, ya que no solo se requiere un adecuado diseño, sino también una correcta ejecución en obra que garantice el desempeño esperado de las intervenciones.

Las técnicas de reforzamiento estructural contempladas en esta investigación, están cubiertas bajo el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, en la modificación a la norma NSR-10 establecida por el decreto 1401 de 2023, por el cual se requiere el uso del documento AIS 410-23: EVALUACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD SISMICA EN VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA.

Para llevar a cabo el desarrollo de la guía metodológica para la supervisión técnica en proyectos de reforzamiento de edificaciones de baja altura, se realizo una revisión de la norma NSR-10, en donde se extraen los parámetros mas relevantes para el tema de estudio, se realizo una revisión de los métodos de reforzamiento para este tipo de edificaciones con los cuales se elaboraron listas de chequeo que sirven como herramienta para el ejercicio de la interventoría o supervisión técnica.

Resumen

La presente investigación aborda el reforzamiento estructural de edificaciones existentes de baja altura, especialmente aquellas construidas de manera informal en Colombia, como una estrategia clave para reducir la vulnerabilidad sísmica y mejorar la seguridad de sus ocupantes. Considerando que una alta proporción de viviendas en el país no cumple con los requisitos del reglamento NSR-10, se reconoce la necesidad de intervenir estas estructuras tanto por ampliaciones como por deficiencias estructurales existentes. En este contexto, el estudio se enfoca en analizar los principales métodos de reforzamiento aplicables a este tipo de edificaciones, en concordancia con la normativa vigente, incluyendo la actualización mediante el Decreto 1401 de 2023 y el documento AIS 410-23. Asimismo, se destaca la importancia de no limitar el proceso al diseño estructural, sino de garantizar un adecuado seguimiento y control durante la ejecución en obra. Para ello, se realizó una revisión normativa y técnica que permitió identificar parámetros clave y desarrollar listas de chequeo como herramienta metodológica para la supervisión técnica, orientadas a asegurar la calidad, eficiencia y correcto desempeño de las intervenciones estructurales.

Capítulo 1. Propuesta metodológica para el seguimiento y control técnico de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, conforme a la norma sismo resistente colombiana

1.1 Planteamiento del Problema

El reforzamiento de estructuras existentes, es una intervención que surge por la necesidad de corregir deficiencias en edificaciones vulnerables para mejorar su comportamiento ante un evento sísmico (Bungacho et al., 2022), dichas deficiencia se originan por no cumplir con una norma técnica, un mal proceso constructivo, una ampliación o cambio del uso de la estructura; por lo general es común encontrar estructuras que no cumplen con criterios técnicos estructurales en aquellas edificaciones de baja altura que pueden ser construidas de manera informal, presentando necesidades de reforzamiento para prevalecer la seguridad. (Navarro y Quiroz, 2012)

La persistencia de la construcción informal y el riesgo asociado a la falta de control técnico justifican la necesidad de proponer herramientas que fortalezcan el proceso de supervisión para proyectos de reforzamiento estructural (Palomino, 2014). En países como Ecuador, según Ojeda (2022) existen muchas construcciones de viviendas sin ningún tipo de planificación urbana, en donde debido a la falta de un correcto seguimiento y control técnico durante la ejecución de las obras, resulta imprescindible un reforzamiento estructural bajo una supervisión técnica que garantice que la estructura logre cumplir con un sistema estructural sismo resistente. En este caso estas edificaciones pequeñas sin ninguna planificación y supervisión técnica ponen en riesgo la vida de sus ocupantes.

Para el caso del territorio colombiano, según Torres y Arias (2019), Colombia se ha caracterizado porque en la mayoría de las ciudades, se han realizado históricamente construcciones bajo procesos constructivos informales sin ninguna supervisión técnica. De acuerdo a Gómez et al. (2022), “en Colombia, aunque las cifras oficiales muestran una reducción del déficit habitacional, otras estimaciones muestran un incremento en la construcción de vivienda informal”, por lo cual se genera una problemática que aborda la tenencia de la vivienda en el país, ya que la mayoría de este tipo de obras se ejecutan sin ningún seguimiento y control técnico, no obstante hablar de reforzamiento estructural para este tipo de edificaciones informales, requiere de un cuidadoso seguimiento y control, ya que si se siguen construyendo sin tener en cuenta parámetros normativos, solo se agrava la estabilidad de las edificaciones existentes.

Por lo anterior, a pesar de que en la actualidad se siguen presentando casos de construcciones informales otra problemática que se suma a este panorama, se presenta cuando se desarrolla un proyecto de obra nueva que tenga colindancia con viviendas o edificaciones con deficiencias estructurales, en donde la ausencia de protocolos claros y herramientas prácticas de supervisión generan vacíos en la gestión técnica, aumentando la vulnerabilidad y el riesgo en las construcciones (Lopez R., 2017). En este contexto es necesario contar un correcto seguimiento y control para ejecutar actividades de reforzamiento que garanticen la estabilidad de las estructuras existentes. Por esta razón la presente investigación, busca establecer listas de chequeo para el seguimiento y control técnico en el reforzamiento de edificaciones existentes, enfocado a edificaciones de baja altura, basado en el cumplimiento de parámetros técnicos según lo dispuesto por la norma de construcción sismo resistente NSR-10.

1.2 Formulación del Problema

Cuáles son los parámetros necesarios para el seguimiento y control técnico en obras de reforzamiento de edificaciones existentes de baja altura, basado en el cumplimiento de la normativa colombiana.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Proponer una metodología de interventoria para seguimiento y control técnico de obras de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, utilizando como base los requisitos y criterios de la normativa colombiana con el fin de garantizar la calidad y seguridad de las edificaciones

1.3.2 Objetivos Específicos

Identificar los requisitos normativos del reforzamiento estructural para edificaciones de baja altura, mediante la revisión de la NSR-10 y otras referencias técnicas, con el fin de establecer lineamientos que orienten la correcta aplicación de métodos en procesos de reforzamiento.

Definir los procesos de seguimiento y control técnico aplicables al reforzamiento de edificaciones de baja altura mediante la revisión de métodos, materiales y criterios de aplicación, para establecer parámetros técnicos que garanticen la seguridad y calidad de las intervenciones.

Elaborar una guía metodológica de interventoria para el reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, mediante el uso de listas de chequeo basadas en los parámetros técnicos y normativos identificados, con el fin de garantizar la correcta supervisión de las obras y mejorar la seguridad y estabilidad de las edificaciones.

1.4 Justificación

El reforzamiento de estructuras en edificaciones, surge como la necesidad de habilitar una estructura existente que por su proceso constructivo informal o por la falta de calidad en los materiales y planificación de la misma requiere de un sistema de refuerzo para cumplir con los requisitos de la norma, en el caso de Colombia, la NSR-10, no obstante, el simple refuerzo estructural no es suficiente para cumplir con los requerimientos de la norma. Se requiere de una supervisión técnica de obra que garantice que todo lo ejecutado se realice conforme a los planos, las especificaciones técnicas y la normativa. (Zuluaga, 2023).

A pesar de que existen investigaciones como la realizada por Trigos y Perez (2019), en donde proponen una “guía para la supervisión técnica de proyectos de rehabilitación Estructural por el método del recrecido”, solo se limitan al análisis de una sola metodología, aun sin tener en cuenta el seguimiento y control técnico de diferentes tipologías de reforzamiento estructural, lo cual hace necesario plantear la presente investigación que busca dar a conocer los requerimientos y parámetros necesarios para el seguimiento y control técnico en el reforzamiento de estructuras existentes de baja altura, basado en la normativa colombiana NSR-10.

Tomando como precedente la investigación realizada por Cuervo et al. (2022), plantea una metodología para seguimiento y control de interventoría técnica en la ejecución de proyectos de reforzamiento estructural para casas de uno y dos pisos de material adobe y tapia, basados principalmente en el Decreto 2113 de 2019 por el cual se incorpora al reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 el documento AIS-610-EP-2017-Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de Uno y Dos Pisos de Adobe y Tapia pisada, sin embargo esta investigación no tiene un enfoque que permita el seguimiento y control técnico para el reforzamiento de edificaciones en las diferentes tipologías de acuerdo al cumplimiento de parámetros normativos establecidos por la norma colombiana NSR-10.

Por lo anterior, a pesar de que existen investigaciones como la realizada por Ruiz et al. (2023), en donde proponen y aplican un método de reforzamiento para edificaciones de baja altura, así mismo investigaciones como la de Duque (2015) que propone un modelo de supervisión para el reforzamiento de una vivienda de dos niveles con el uso de metodología Build Change, no satisfacen la necesidad de dar a conocer los parámetros y requerimientos para el seguimiento y control técnico agrupando las diferentes tipologías de reforzamiento estructural aplicado a edificaciones de baja altura, siguiendo lo establecido en la Norma NSR-10, por lo cual, se hace necesario establecer mediante una guía de interventoria conformada por listas de chequeo, los criterios que se determinen en base al desarrollo de la investigación y al cumplimiento de la norma, para el reforzamiento de edificaciones de baja altura en donde sea admisible la norma colombiana.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Geográfica

La delimitación geográfica en este caso corresponde a las fronteras de estudio, el cual, en este caso, dado a la propuesta de investigación, el enfoque de las listas de chequeo para el seguimiento y control de los diferentes métodos de reforzamiento estructural para edificaciones de baja altura, tiene una aplicación para todo el territorio colombiano y donde apliquen las normas y regulaciones colombianas en materia de reforzamiento de estructuras.

1.5.2 Temporal

El tiempo necesario para el desarrollo del proyecto se estima en una duración de 4 meses contados a partir de la aprobación del Anteproyecto de grado.

1.5.3 Conceptual

El proyecto se fundamenta en conceptos de reforzamiento estructural, supervisión técnica, inspección de elementos de concreto, control de refuerzo para recrecido de estructuras de hormigón, métodos de reforzamiento invasivo y no invasivo, refuerzo de muros confinados, refuerzo de estructuras a porticadas, entre otros.

1.5.4 Operativa

El alcance de la investigación contempla el análisis de las distintas metodologías para el reforzamiento de edificaciones con sistemas estructurales de pórticos resistentes a momentos,

muros confinaos y tapia pisada, en donde inicialmente se contempla la revisión e identificación de los lineamientos normativos según la NSR-10, luego se establece una matriz de requisitos y parámetros normativos, con el propósito de definir los aspectos claves que aplican a edificaciones de baja altura. Posteriormente se determinan los requerimientos técnicos basado en las normativas colombianas vigentes, en donde se establecen los parámetros mínimos necesarios para llevar a cabo la supervisión de obras de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, y finalmente se elaboran listas de chequeo, para el seguimiento y control técnico según el reforzamiento a utilizar en base al cumplimiento de la norma colombiana NSR-10 para edificaciones de baja altura.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

2.1.1 Antecedentes

El reforzamiento de edificaciones existentes es un tema que a nivel de Latinoamérica y de países subdesarrollados toma mucha relevancia por la falta de supervisión y control en la ejecución de obras especialmente de viviendas, que resulta en una gran cantidad de construcciones informales que carecen de criterios técnicos y normativos, los cuales con el paso del tiempo y debido a los movimientos sísmicos inevitables e impredecibles, conlleva a plantear diferentes técnicas de reforzamiento de estructuras en riesgo debido a su mala construcción por falta de seguimiento y control. (Moya et al., 2024)

Teniendo en cuenta lo anterior, a nivel internacional, existen muchas investigaciones que establecen las diferentes técnicas y metodologías que se necesitan para el reforzamiento de estructuras como es el caso de Al-Hussaini et al. (2022), el cual realizan una investigación sobre las soluciones de refuerzo sísmico en edificaciones residenciales de mampostería no reforzada y estructuras de hormigón armado en Bangladesh, país en el cual existen políticas de reforzamiento de estructuras existentes desarrolladas tras el colapso del edificio Rana Plaza en el año 2013, causando la muerte de 1130 personas y dejando a mas de 2500 heridos. Los sistemas de refuerzo planteados en la investigación de Al-Hussaini corresponden a métodos avanzados de refuerzo sísmico como el aislamiento de zócalos y el uso de dispositivos de disipación.

Otra metodología para el reforzamiento de edificaciones existentes de concreto reforzado, corresponde a la investigación realizada por Barbagallo et al. (2025), en donde se analiza de forma experimental a escala el uso de CLT (madera laminada cruzada) que sirve como disipador de energía, ubicado en la estructura conformando arriostramientos concéntricos, esta metodología se desarrolló en el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, en Italia.

A nivel de Latinoamérica existen investigaciones como la realizada por Herrera et al. (2022), en donde se estudia el reforzamiento de una vivienda construida informalmente en Ecuador, mediante el uso de enchapes, que es una técnica de reforzamiento compuesto por una malla electrosoldada anclada a la pared, panel o mampostería mediante el uso de conectores y revestida con concreto de baja resistencia. Esta metodología de refuerzo, según Borja y Torres (2015) para edificaciones de máximo 4 niveles, es efectivo para rigidizar el sistema estructural de pórticos resistentes a momentos.

Para otros investigadores como es el caso de Prota et al. (2024), también implementan el reforzamiento mediante el uso de enchapes, pero en este caso se llama fortalecimiento sísmico mediante exoesqueleto de acero ortogonal, el cual es aplicado de forma teórica computacional tridimensional mediante un modelo de análisis no lineal para un edificio italiano de estructura de concreto reforzado construido antes de la década de 1980 ubicado en Mugnano di Napoli, Italia, en donde se llegó a la conclusión que el uso de exoesqueletos ortogonales (malla electrosoldada), si permite aumentar la rigidez del edificio reduciendo la deriva residual entre plantas.

A nivel nacional existen diversas investigaciones como la realizada por Rodríguez (2020), en la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, en Manizales, el cual hace un análisis comparativo de las diferentes metodologías de reforzamiento estructural aplicado a edificaciones de concreto reforzado, concluyendo que el método de reforzamiento mas viable tanto para edificaciones pequeñas como grandes, es el encamisado de elementos estructurales mediante láminas de acero, ya que permite una fácil intervención y mejora el desempeño estructural de una edificación.

Con relación al tema de estudio se puede resaltar la investigación realizada por Cuervo et al. (2022), en donde se desarrolla una metodología de seguimiento y control para la interventoria técnica de proyectos de reforzamiento estructural para casas de uno y dos pisos construidas con sistema constructivo de adobe y tapia pisada, lo cual se diferencia con el desarrollo de la presente investigación que se basa en el reforzamiento de edificaciones existentes de máximo dos niveles, pero compuesta de muros confinados y/o pórticos resistentes a momentos.

A nivel local, vale la pena mencionar la investigación realizada por Trigos (2024), en donde se estudia una metodología propuesta para el refuerzo estructural no invasivo en viviendas informales que incumplen el Titulo E, de la NSR-10, mediante el uso de un pañete reforzado con viruta de metalistería en donde se realizan muestras de ensayo para evaluar el aumento de la resistencia del concreto en laboratorio y se aplica el método en un caso de estudio de forma teórica mediante modelación computacional concluyendo que el pañete reforzado con la viruta de metalistería si contribuye a un aumento en la resistencia de la estructura.

2.2 Marco Contextual

Dado al amplio margen que comprende el uso de un sistema de reforzamiento estructural para las diferentes tipologías de edificaciones que existen y que son muy recurrentes a nivel local y en todo el territorio colombiano, el desarrollo de la presente investigación se contextualiza en el seguimiento y control técnico para el reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura conformadas por pórticos resistentes a momentos y muros en mampostería confinada.

Por lo anterior es importante resaltar que a pesar de que existen diferentes tipologías como la tapia pisada, en este caso el enfoque de la investigación y para lo cual se espera plantear las diferentes técnicas a tener en cuenta para la supervisión de obras de reforzamiento de edificaciones existente de máximo dos niveles, corresponde a estructuras de concreto reforzado, en donde dado a la influencia y a la situación actual del país, y teniendo en cuenta que según el DANE (2022), el déficit habitacional cuantitativo de hogares que habitan en viviendas con deficiencias estructurales y de espacio representa el 31% de los hogares a nivel nacional, por lo cual las técnicas de reforzamiento estructural están orientadas a suplir las necesidades de resistencia estructural para las viviendas informales o ampliaciones de viviendas existentes de máximo dos niveles, por lo cual se entiende que el uso de las edificaciones para el cual se plantean las listas de chequeo con los criterios técnicos y normativos para la supervisión de obras de reforzamiento corresponde al uso de viviendas.

Con respecto a la supervisión de obras de reforzamiento estructural, es importante mencionar que las intervenciones deben realizarse conforme a los parámetros establecidos en la norma Colombiana NSR-10, y demás leyes que competen al refuerzo de estructuras existentes

(Feliciano et al., 2022), además es importante tener en cuenta que con respecto a las zonas de amenaza sísmica que existen en Colombia (Alta, Intermedia y baja), en este caso no se discrimina una zona en específico para tener en cuenta los criterios técnicos y normativos a la hora de realizar el seguimiento y control a una obra de reforzamiento estructural.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Reforzamiento estructural

El reforzamiento estructural, es una acción que se realiza mediante la ejecución de diferentes actividades para llevar a cabo un sistema de refuerzo de acuerdo a la tipología de una edificación, teniendo en cuenta que su finalidad consiste en incrementar la resistencia de una estructura para mejorar la estabilidad estructural con respecto al aumento de cargas gravitacionales y cargas sísmicas que se presenten ante cualquier eventualidad. (Sika, 2017)

2.3.2 Riesgo Sísmico

El riesgo sísmico es el término utilizado para describir las pérdidas potenciales que pueden sufrir las estructuras en caso de terremoto. Se determina teniendo en cuenta dos factores principales: la probabilidad de que se produzca un terremoto en un lugar determinado y la susceptibilidad de las estructuras a los terremotos. El riesgo sísmico es elevado cuando hay una alta probabilidad de terremotos y estructuras débiles. Además, se tiene en cuenta la densidad de población o de edificios de una zona, ya que cuantas más personas o edificios haya en una zona propensa a los terremotos, mayor será el peligro de pérdidas potenciales en caso de terremoto. Ambas estrategias son esenciales para comprender y controlar el riesgo sísmico, ya que permiten

tomar decisiones con conocimiento de causa para proteger a las comunidades y reducir los daños en caso de terremoto. (Huanca y Paucar, 2023)

2.3.3 Vivienda Informal

La vivienda informal se entiende como aquella construida sin asistencia profesional, por autoconstrucción, careciendo de un sistema de resistencia sísmica, lo que representa el grupo de edificaciones más vulnerables debido a que a pesar de que tienen un sistema de resistencia que permite soportar las cargas gravitacionales, no tiene garantía alguna, de que pueda resistir cargas sísmicas, es decir cargas laterales. (Héndez, 2013)

2.3.4 Vulnerabilidad Sísmica

De acuerdo a Morocho & Obelencio (2024) la vulnerabilidad sísmica, es la probabilidad de que una edificación resulte averiada o con daños en su estructura debido a la intensidad de un evento sísmico, en este caso, se puede clasificar la vulnerabilidad como: Vulnerabilidad sísmica por origen y vulnerabilidad sísmica progresiva.

Vulnerabilidad Sísmica por Origen: Este tipo de vulnerabilidad se presenta principalmente en construcciones que, desde su fase de planificación, carecen de un adecuado criterio de diseño y aún más de un enfoque estructural sismo-resistente. Sin embargo, es posible reducir esta vulnerabilidad mediante procesos de rehabilitación y refuerzo estructural enfocados en la resistencia sísmica. (Morocho & Obelencio, 2024)

Vulnerabilidad sísmica progresiva: Se refiere a una forma de vulnerabilidad que surge con el paso del tiempo en ciertos tipos de edificaciones, debido al deterioro paulatino de las propiedades físico-mecánicas de los materiales de construcción. Este deterioro suele estar asociado a factores desencadenantes de origen climático o natural. (Morocho & Obelencio, 2024)

2.3.5 Seguimiento técnico

El seguimiento técnico, se puede definir como la actividad de supervisar uno o varios procesos que comprenden el desarrollo de una actividad constructiva con el propósito de garantizar su ejecución conforme a lo establecido en estudios previos o diseño previo, en otros términos, el seguimiento técnico enmarca la correcta ejecución, instalación y desarrollo de un producto en particular. (Acosta, 2021)

2.3.6 Sistema estructural

De acuerdo a Rochel (2012), los sistemas estructurales de resistencia sísmica que reconoce la norma colombiana NSR-10 corresponden a:

Sistema de pórtico: Es un sistema estructural compuesto por pórticos resistentes a momentos, esencialmente completo, sin diagonales y que resisten todas las cargas verticales y horizontales. (Rochel, 2012)

Sistema de muros de carga: Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por muros de carga y las

fuerzas horizontales o sísmicas, son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales. (Rochel, 2012)

Sistema Combinado: Es un sistema en donde las cargas verticales son resistidas por pórticos no resistentes a momentos y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales. (Rochel, 2012)

Sistema Dual: Está compuesto por pórticos resistentes a momentos sin diagonales combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, que resisten las cargas verticales y horizontales, en donde los pórticos resistentes a momentos deben ser capaz de resistir el 25% del cortante sísmico o fuerza horizontal en la base, y los muros estructurales deben resistir como mínimo el 75% del cortante sísmica en la base. Este sistema por lo general se presenta para edificaciones que superan los 5 niveles de altura, y para una zona de amenaza sísmica alta. (Rochel, 2012)

2.4 Marco Teórico

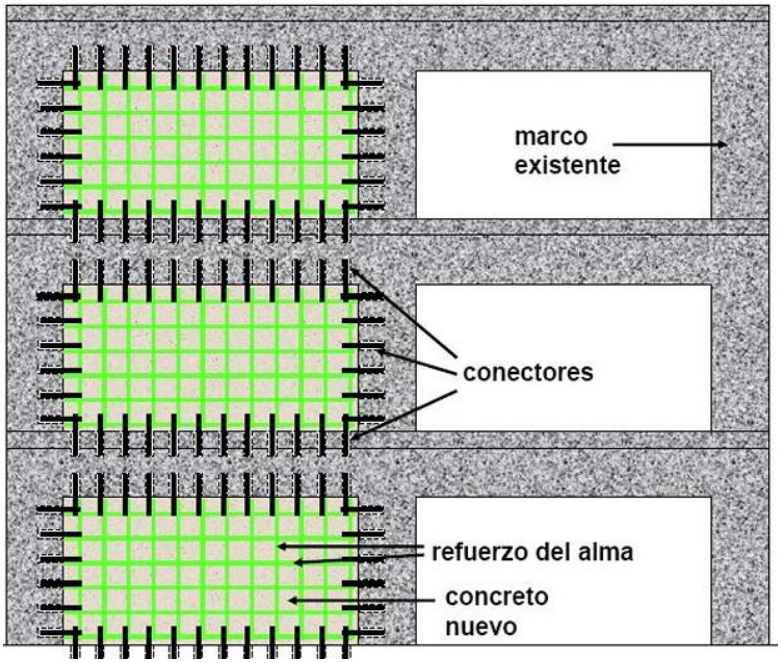
El reforzamiento estructural enmarca diferentes metodologías que combinan técnicas constructivas, normativas y tecnológicas, con el fin de rehabilitar o garantizar la estabilidad estructural de una edificación antes, durante y después de un evento sísmico; en este orden de ideas, se relacionan las técnicas de reforzamiento estructural más convenientes a tener en cuenta, que contribuya al desarrollo de la investigación como parte de la teoría relevante para el desarrollo de las listas de chequeo para el seguimiento y control técnico.

2.4.1 Refuerzo por adición de muros de corte

Según Maldonado & Durán (2013), Los muros de corte, son elementos estructurales hechos en concreto reforzado capaces de soportar cargas verticales y horizontales, los cuales contribuyen a aumentar la rigidez en la dirección paralela a la cara del muro, por lo que son capaces de soportar fuerzas horizontales producto de cargas sísmicas. En la figura 1, se puede apreciar el esquema de este tipo de reforzamiento, en donde se observa que para una edificación existente, se debe disponer de anclajes perpendiculares a la sección transversal del muro, de igual manera, el muro de corte no va adherido a un muro existente, se debe disponer del vano o espacio entre vigas y columnas libre de cualquier muro de mampostería o muro falso, para poder proceder a fundir el muro de corte estructural que se compone por doble malla de acero de refuerzo y anclajes en todas las caras de la sección transversal del muro.

Figura 1

Reforzamiento con muros de corte en estructuras existentes



Nota. Tomado de Maldonado & Durán (2013).

2.4.2 Encamisado de elementos estructurales

Una de las técnicas más tradicionales para el reforzamiento de estructuras existentes, corresponde al recrecido de elementos estructurares en un sistema de pórticos resistentes a momentos, es decir el aumento de la sección transversal de vigas, columnas y cimentación. Según Ayala & Giraldo (2018), el encamisado corresponde al recrecido del elemento estructural, utilizando un armado de acero de refuerzo sobre el elemento existente, para luego vaciarlo de concreto aumentando así la sección del elemento estructural existente, y aumentando la resistencia del elemento para soportar cargas superiores a las previstas inicialmente. Ver figura 2.

Figura 2

Reforzamiento de columna por encamisado o recrecido de concreto



Nota. Tomado de Paredes (2022)

De acuerdo a la figura 2, es importante mencionar que existen otros sistemas de reforzamiento por encamisado para elementos estructurales, como es el caso del reforzamiento

con platinas y ángulos metálicos, el cual es un sistema de reforzamiento adecuado cuando se requiere menos del 50% de incremento en la resistencia de la sección y que se aplica sobre columnas con esfuerzos solicitados esencialmente en compresión simple o con flexiones reducidas. Ver figura 3. (Garcia y Chirico, 2012).

Figura 3

Encamisado de columna con platinas metálicas



Nota. Tomado de Garcia y Chirico (2012).

2.4.3 Refuerzo con fibra FRP

El refuerzo con fibra FRP (Fiber Reinforced Polymer) es decir, materiales poliméricos reforzados con fibras, del cual se deriva la fibra de carbono (CFRP), el cual tiene un uso en la construcción para la reparación de estructuras deterioradas, puesto que son aplicados para refuerzo a flexión, corte y torsión de vigas y columnas, refuerzo a flexión de losas,

confinamiento de muros, ayudando así a mejorar la capacidad de deformación del elemento estructural (Navarrete, 2017). En la figura 4, se puede observar el refuerzo de una columna y el nodo de interacción viga-columna.

Figura 4

Refuerzo con fibra de carbono CFRP



Nota. Tomado de Navarrete (2017).

De acuerdo a la figura 4, el reforzamiento con laminas de fibra de carbono adheridas con epóxico a los elementos estructurales, es una técnica poco convencional debido a su costo y utilidad, sin embargo, es una metodología viable cuando no se pueden utilizar métodos invasivos, ya que la instalación de este tipo de refuerzo, no requiere de desalojar o desocupar el lugar en donde se encuentra el elemento estructural. De acuerdo al trabajo de Tesis Doctoral de Brizuela (2021), en donde estudia el aumento en la capacidad de resistencia del concreto con la adherencia de fibra de carbono, mediante probetas y ensayos de laboratorio (ver figura 5),

concluye que, las probetas ensayadas con refuerzo de fibra de carbono tienen una tensión de rotura de 14% superior al valor real de la probeta sin ningún refuerzo.

Figura 5

Ensayo de probetas recubiertas con fibra de carbono CFRP



Nota. Tomado de Brizuela (2021).

De acuerdo a la figura 5, se observa el procedimiento y el resultado de ensayo de probeta cilíndrica realizado por Brizuela (2021), en donde de acuerdo a la índole de la presente investigación, con relación al seguimiento y control que puede tenerse en cuenta para este sistema de reforzamiento, corresponde a las características de resistencia de la lamina o fibra de carbono, que se utilice según las necesidades de resistencia y deformación que necesita un elemento estructural en una edificación, el cual para este método, se puede aplicar, vigas, columnas y muros estructurales o muros de corte.

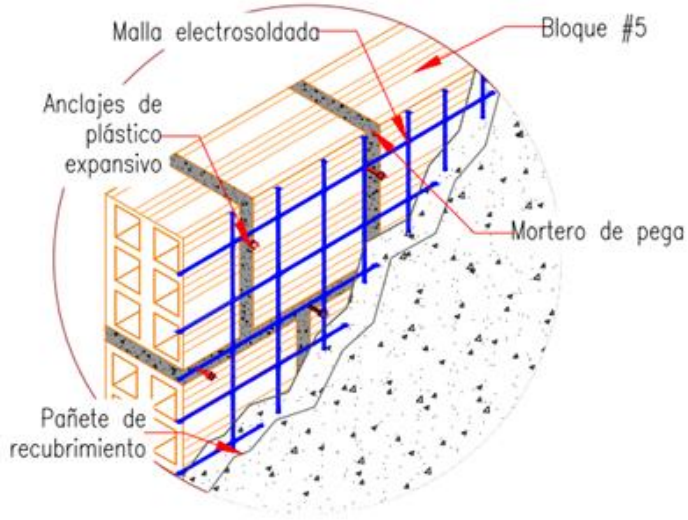
2.4.4 Refuerzo con malla electrosoldada y mortero

El refuerzo con malla electrosoldada y mortero, para algunos autores se conoce con el nombre de refuerzo de muros por enchape de paredes, según Castillo et al. (2022), es una

alternativa de refuerzo, que consiste en envolver el muro de mampostería con malla electrosoldada anclada mediante conectores y recubierta con mortero. Este sistema brinda mayor soporte ante cargas laterales, es decir cargas sísmicas, ya que cambia el sistema de comportamiento de un muro no estructural o divisorio, a un muro que resiste cargas sísmicas. Ver figura 6.

Figura 6

Refuerzo con malla electrosoldada y mortero



Nota. Tomado de Gamba (2019).

De acuerdo a la figura 6, este sistema de malla electrosoldada con mortero, la malla recomendada es la 5mm y debe ir anclada a la brecha de la mampostería con sunchos plásticos, al igual que debe ir anclada al sistema de vigas y columnas que confinan el muro por medio de conectores anclados a las vigas y columnas espaciados a cada 30 cm, con diámetro de barra mínimo N° 2. (Castillo et al., 2022).

2.4.5 Interventoria en el refuerzo estructural de edificaciones

Con relación a las diferentes investigaciones relacionadas con las metologias propuestas para la supervisión o el seguimiento y control en construcciones enfocadas al reforzamiento de estructuras, se menciona el trabajo realizado por cuervo et al. (2022), en donde se plantea una metodología para la interventoria técnica del reforzamiento estructural, siguiendo una serie de etapas. Ver figura 7.

Figura 7

Procedimiento para la evaluación de la intervención

ETAPA 1	Verificar los criterios de diagnóstico o evaluación de vulnerabilidad sísmica.
ETAPA 2	Recopilación y estudio de la información existente del diseño geotécnico y estructural.
ETAPA 3	Debe calificarse el sistema estructural con respecto: 1. calidad del diseño de la estructura original, también su cimentación construcción. 2. El estado de mantenimiento y conservación.
ETAPA 4	Deben determinarse unas solicitaciones equivalentes como lo son: ✓ Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva. ✓ Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad limitada. ✓ Clasificación del sistema estructural. ✓ Coeficiente de capacidad de disipación de energía. ✓ Fuerzas sísmicas. ✓ Cargas de diferentes a las solicitudes sísmicas. ✓ Análisis estructural. ✓ Obtención de las solitudes equivalentes
ETAPA 5	Se realizará un análisis elástico de la estructura y cimentación para las solicitaciones equivalentes resultantes de la etapa 4.
ETAPA 6	Determinación de la resistencia de la estructura existente: ✓ Índice de sobresfuerzo de elementos y estructuras. ✓ Determinación del índice de sobre esfuerzo. ✓ Resistencia existente de los elementos. ✓ Resistencia efectiva. ✓ Definición del índice de flexibilidad del piso y de la estructura.
ETAPA 7	Se debe obtener una resistencia efectiva de la estructura, a partir de la resistencia existente, afectando los coeficientes de reducción calculados en la etapa 3.
ETAPA 8	Determinar un índice de sobreesfuerzo máximo obtenido del análisis estructural de la etapa 5, para solicitaciones equivalentes definidas en la etapa 4 y resistencia efectiva obtenida en la etapa 7.
ETAPA 9	Debe conseguirse las derivas de la estructura utilizando desplazamientos horizontales de la etapa 5.
ETAPA 10	Debe determinarse el índice de flexibilidad por efectos horizontales, con el máximo cociente entre las derivas obtenidas en la etapa 9 y debe determinarse flexibilidad por efectos verticales.
ETAPA 11	La intervención estructural debe definirse de acuerdo a: ✓ Ampliaciones adosadas. ✓ Ampliaciones en altura. ✓ Actualización al reglamento
ETAPA 12	Debe analizarse la intervención propuesta, la cual debe diseñarse para las fuerzas y esfuerzos obtenidos de ese nuevo análisis.

Nota. Tomado cuervo et al. (2022).

2.5 Marco Legal

Con relación al desarrollo de la investigación, dado que el tema trata sobre el seguimiento y control técnico para el reforzamiento de edificaciones existentes de máximo 2 niveles, en cumplimiento de la normativa colombiana, por tal motivo, se relaciona la normativa colombiana que en este caso aplica para el reforzamiento de edificaciones.

Ley 400 de 1997. Esta ley se establece con el fin de poder soportar las fuerzas sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso, y aumentar su resistencia a los efectos que producen, minimizar el riesgo de víctimas humanas y proteger al máximo el patrimonio del Estado y de sus ciudadanos, establece los criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de los edificios nuevos, así como los necesarios para la recuperación de la comunidad después de un terremoto.

Norma NSR-10. Corresponde al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, que contiene diferentes títulos, de los cuales se destaca el TITULO A. Capitulo A.10. Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento, en donde se establecen los criterios y procedimientos que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad sísmica y adicionar, modificar o remodelar el sistema estructural de edificaciones existentes diseñadas y construidas con anterioridad a la vigencia de la presente versión del Reglamento NSR-10. Otro Capitulo importante dentro de la NSR-10 y relacionada con el desarrollo de la investigación corresponde al TITUO I. Supervisión Técnica, en donde se establece la obligatoriedad de supervisión técnica para proyectos o edificaciones con

áreas mayores a 3000 m2, y para edificaciones de grupo de uso III y IV, como hospitales, estaciones de bomberos, o edificaciones de primera necesidad, requieren de supervisión técnica sin importar el área. Para el caso de proyectos con áreas menores a 3000m2, puede tener una supervisión técnica según lo exija el diseñador estructural.

Resolución 5381 del 20 de diciembre de 2013. Por medio del cual se modifica el plazo para las acciones de reforzamiento estructural, para las edificaciones de uso indispensable como las instituciones prestadoras del servicio de Salud, en donde por medio de esta resolución se amplía el plazo a 4 años adicionales para realizar acciones de reforzamiento estructural contados desde la vigencia de la resolución.

Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. En este caso esta norma se relaciona con el desarrollo de la presente investigación, ya que exige incorporar criterios de seguridad territorial y resiliencia estructural, además refuerza el cumplimiento de la norma NSR-10.

Ley 1796 del 13 de julio de 2016. Por la cual se establecen medidas enfocadas a la protección del comprador de vivienda, el incremento de la seguridad de las edificaciones y el fortalecimiento de la Función Pública que ejercen los curadores urbanos, se asignan unas funciones a la Superintendencia de Notariado y Registro y se dictan otras disposiciones. Esta norma establece que la obligatoriedad en la supervisión técnica de obras, debe realizarse cuando las construcciones superan los 2000 m2 de área construida sin importar su uso.

Ley 1150 de 2007. Esta ley establece que los funcionarios que hacen parte de una entidad del estado encaminada a la administración de recursos para el mejoramiento de la planeación y la infraestructura, no están exentos de ser supervisores de contratos celebrados con entidades estatales como delegación de los deberes de control y vigilancia de la actividad precontractual y contractual.

Resolución 251 de 06 de mayo de 2015. Por lo cual se reglamenta la supervisión e interventoría de contratos en el Departamento Administrativo de la Función Pública. En donde en su artículo 2, dice que: "La supervisión de los contratos deberá ser ejercida por el empleado público que cuente con los conocimientos y la experiencia para ejercer el seguimiento técnico, administrativo, financiero, contable, jurídico y en general la vigilancia y el control en el cumplimiento del objetivo pactado".

ACI 562. Norma internacional que ccorresponde al código del Instituto Americano del Concreto para la evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras existentes de concreto. Es una norma especializada que no se enfoca en nuevas construcciones (como la ACI 318), sino en mejorar estructuras que ya existen. Esta norma a pesar de ser internacional, tiene relevancia en el territorio colombiano, teniendo en cuenta que la Norma NSR-10, se basa o tiene relación y coincidencia con la norma ACI-318.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El desarrollo de la investigación es de tipo Cualitativa y descriptiva, ya que permite caracterizar las técnicas, materiales y criterios utilizados para el reforzamiento estructural de edificaciones de baja altura, en donde se aplica una revisión documental y normativa, así como el análisis de criterios técnicos.

3.2 Seguimiento metodológico del proyecto

El seguimiento metodológico, en este caso corresponde a las actividades a realizar para alcanzar el desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos en esta investigación, en este caso corresponden a:

Hacer una revisión bibliográfica de la NSR-10 para relacionar los requisitos normativos del reforzamiento estructural para edificaciones de baja altura, teniendo en cuenta otras referencias técnicas, con el fin de establecer lineamientos que orienten a la correcta aplicación de métodos y procesos de reforzamiento.

Definir los métodos de reforzamiento estructural para edificaciones de baja altura eestableciendo los parámetros técnicos para el reforzamiento estructural. Impartiendo recomendaciones para el seguimiento y control técnico de edificaciones de baja altura.

Elaborar una guía metodológica para la supervisión técnica en proyectos de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, mediante el uso de listas de chequeo basadas en los parámetros técnicos y normativos identificados, con el fin de garantizar la correcta supervisión de las obras y mejorar la seguridad y estabilidad de las edificaciones existentes o vulnerables sísmicamente.

3.3 Población

Teniendo en cuenta el tipo y alcance de investigación, la población en este caso corresponde a las edificaciones existentes de máximo dos niveles en Colombia, que sean objeto de modificación, reparación, ampliación o reforzamiento estructural.

3.4 Muestra

En este caso la muestra corresponde a una muestra no probabilística de tipo intencional, en donde con la obtención de los resultados de la investigación y el valor agregado de la misma, que corresponde a las listas de chequeo para la supervisión técnica de obras de reforzamiento estructural, la muestra hace referencia a la aplicación de dichas listas de chequeo resultantes de la investigación, en edificaciones u obras de reforzamiento estructural de máximo dos niveles.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de Información

Con relación a las técnicas de recolección de información relevantes para desarrollo de la presente investigación se contemplan:

Revisión documental: Es la técnica clave para el desarrollo de la investigación en donde por medio de normas, libros y bases de datos, como Scopus, Redalyc, e-Libro, Scielo, Science Direct, entre otras bases de datos, son utilizadas para establecer los criterios técnicos y normativos, necesarios para la correcta supervisión basada en el seguimiento y control técnico en el reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura.

3.6 Analisis de información

De acuerdo al tipo de investigación, el análisis de información en este caso corresponde a la matriz o documento técnico correspondiente a las listas de chequeo con los parámetros técnicos y normativos necesarios para el seguimiento y control técnico en obras de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura.

Capítulo 4. Desarrollo de la Investigación

El reforzamiento estructural de edificaciones de baja altura, es un tema que requiere de seguimiento y control, para llevar a cabo la correcta ejecución de este tipo de obras, teniendo en cuenta que deben cumplirse una serie de criterios técnicos y normativos, por lo cual el desarrollo de la presente investigación contempla el marco normativo y los procesos técnicos para el reforzamiento de edificaciones de baja altura, estableciendo como resultado y valor agregado de la investigación una guía metodológica para el seguimiento y control técnico de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, conforme a la norma sismo resistente colombiana.

4.1 Identificación de los requisitos normativos del reforzamiento estructural para edificaciones de baja altura, mediante la revisión de la NSR-10 y otras referencias técnicas, con el fin de establecer lineamientos que orienten la correcta aplicación de métodos en procesos de reforzamiento

Para identificar los requisitos normativos que competen la legalidad del reforzamiento estructural para edificaciones de baja altura, es importante mencionar que para efectos de la presente investigación, las edificaciones de baja altura, deben entenderse como aquellas construcciones de 1 a 3 pisos, en donde dado a la necesidad predominante en el territorio colombiano por fortalecer los mecanismos de apoyo para reducir la construcción informal, se brindar soluciones al reforzamiento de edificaciones para el uso de viviendas, razón por la cual, el enfoque de la investigación, esta dirigido a resolver y aclarar parámetros de seguimiento y control para el reforzamiento de edificaciones existentes de uso viviendas de 1, 2 y 3 pisos.

4.1.1 Reforzamiento según Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10

En Colombia la NSR-10, se puede tratar como el instrumento clave para el diseño y reforzamiento estructural de edificaciones, el cual es un documento que tiene fuerza de ley, es decir, contempla una serie de requisitos y parámetros que son de estricto cumplimiento para el desarrollo, construcción y reforzamiento de edificaciones, Este reglamento ha tenido sus actualizaciones sin embargo, su inicio se crea mediante la Ley 400 de 1997, por el cual se adoptan normas sobre construcción sismo resistente, estableciendo el reglamento colombiano de construcción sismorresistente NSR-98, el cual debido a cambios presentados por diferentes eventualidades, como el sismo ocurrido el 25 de enero de 1999 en el departamento de Quindío y Risaralda, en donde "de acuerdo a cifras del DANE, el número total de víctimas mortales se calculó en 1.185, hubo 8.536 heridos, 35.972 viviendas quedaron totalmente destruidas o inhabitables, 6.408 fincas cafeteras con daños y un daño general cuantificado en $2.7 billones de pesos, equivalentes a 2.2 del PIB del año 1998" (Servicio Geológico Colombiano, 2021).

A raíz de los eventos sísmico ocurridos en el territorio colombiano y a las investigaciones de expertos en el tema dieron origen a la actualización de la Norma NSR-98 y posterior actualización NSR-10, mediante el acto administrativo Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, por el cual se establecen requisitos técnicos y científicos de construcción sismorresistente.

Destacando los parámetros importantes para el reforzamiento de edificaciones de baja altura que están inmersos dentro de la NSR-10, y que son importantes para establecer un marco normativo para el seguimiento y control de este tipo de obras de mejoras o rehabilitación de

edificaciones, se contemplan los siguientes parámetros según los diferentes capítulos que componen el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente.

4.1.1.1 Título A - NSR-10. REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE.

Dentro de los requisitos que contempla el Titulo A, para el diseño de edificaciones sismo resistentes, se contempla la clasificación y uso de una edificación, así como la definición de zonas de amenaza sísmicas y espectros sísmicos de diseño, al igual que otras disposiciones. Con relación al reforzamiento de edificaciones de baja altura se destacan los siguientes literales:

Literal A.1.3.9 – Supervisión Técnica. De acuerdo a la NSR-10, establece la supervisión técnica en base al Título V de la Ley 400 de 1997, y actualizada por el Decreto 945 del 5 de junio de 2017, en donde se requiere de supervisión técnica en los siguientes casos:

1. Cuando las unidades constructivas tengan más de 2000 m2 construidos, deben someterse a supervisión independiente.

2. Edificaciones Indispensables y de atención a la comunidad pertenecientes al grupo de uso III y IV, independientemente del área que tengan (**NSR-10 A.1.3.9.1**.).

3. Edificaciones diseñadas y construidas según el Titulo E, casas de 1 y 2 pisos, cuando se construyan más de 5 unidades, de ser menos unidades construidas NO requiere de supervisión técnica. (**NSR-10 A.1.3.9.2**).

4. Supervisión técnica exigida por los diseñadores. A criterio del ingeniero o diseñador se puede requerir supervisión técnica cuando exista una complejidad exigente en los procedimientos constructivos o materiales empleados (**NSR-10 A.1.3.9.3**).

Literal A.3.2 – Sistemas estructurales. Teniendo en cuenta que las edificaciones de baja altura están contempladas bajo un sistema estructural, de acuerdo a la Norma NSR-10, se reconocen 4 tipos de sistemas estructurales que son:

1. Sistema de muros de carga. Este sistema dispone de muros de carga para resistir cargas verticales y muros estructurales o pórticos con diagonales para resistir fuerzas horizontales (sísmicas). (**NSR-10 A.3.2.1.1**)

2. Sistema Combinado. Este sistema se pude obtener de dos formas, a) cuando las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales. b) Las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales que no cumplen requisitos de un sistema dual. (**NSR-10 A.3.2.1.2**)

3. Pórticos Resistentes a momentos. Este sistema es uno de los más utilizados y está compuesto por pórticos resistente a momento, es decir está conformado por vigas y columnas en concreto reforzado sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales. (**NSR-10 A.3.2.1.3**)

4. Sistema Dual. Este sistema combina el uso de pórticos resistentes a momentos con muros estructurales, siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos:

a) El pórtico resistente a momentos debe ser capaz de soportar cargas verticales.

b) Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórtico con diagonales con pórticos resistentes a momentos, en donde el pórtico resistente a momentos, actuando como independiente debe resistir como mínimo el 25% del cortante sísmico en la base. (**NSR-10 A.3.2.1.4**)

Capítulo A.10 – EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS ANTES DE LA VIGENCIA DE LA PRESENTE VERSIÓN DEL REGLAMENTO. Este literal relaciona un marco general para evaluar intervenir y reforzar edificaciones existentes construidas antes del establecimiento del reglamento colombiano NSR-10, en donde se establecen las siguientes condiciones que conllevan a un reforzamiento estructural.

Reparaciones y cambios menores. En este caso se consideran reparaciones menores a aquellos cambios que no alteran o afectan el sistema estructural de la edificación, o que no afecten el sistema de resistencia sísmica, en este caso no es necesario hacer estudios ni llevar a cabo una supervisión. (**NSR-10 A.10.1.3.1**)

Cambios de uso. Cuando en una edificación se modifica su uso, es decir para el caso de una vivienda se modifica su uso para local comercial, u otro tipo de uso, se requiere de evaluar las cargas vivas adicionales que pueden alterar el sistema de resistencia sísmica, en este caso si se deben hacer estudios y análisis estructural para evaluar la estructura existente y considerar un

reforzamiento estructural en caso de ser necesario para el nuevo uso de la edificación. (**NSR-10 A.10.1.3.2**)

Vulnerabilidad Sísmica. Para edificaciones existentes antes de la vigencia del reglamento se pueden evaluar los criterios de la NSR-10 Capitulo A-10, para análisis de vulnerabilidad sísmica el cual se especifica en el *Literal A.10.5 – Analisis de Vulnerabilidad.* (**NSR-10 A.10.1.3.3**)

Modificaciones. Hace referencias a las modificaciones que se presenten a edificaciones existentes construidas antes de la NSR-10, las cuales pueden ser ampliaciones adosadas en donde se modifica el área sin modificar su altura, y ampliaciones en altura. (**NSR-10 A.10.1.3.4**). Para contextualizar mejor las modificaciones por ampliaciones, cuando se realizan ampliaciones que aumentan el área en planta de una edificación, se recomienda usar una junta de dilatación entre la estructura nueva y la existente, para que no se tenga que hacer un reforzamiento estructural de la edificación existente, en cambio para el caso de ampliaciones en altura, se debe hacer el análisis estructural incluyendo las cargas verticales nuevas, en donde de ser necesario se deben incluir elementos estructurales adicionales en la porción antigua o edificación existente.

Reparación de edificaciones dañadas por sismos. Se presenta en edificaciones que sufren daños durante un evento sísmico y estos daños se clasifican de moderados a severos en el sistema estructural, o en elementos no estructurales o en ambos y que no hayan sido designadas como de obligatoria demolición total por la autoridad competente. (**NSR-10 A.10.1.3.6**)

4.1.1.2 Título B - NSR-10. CARGAS. Este título de la Norma contempla el uso de cargas y combinaciones de cargas para el diseño considerando cargas muertas sobre impuestas, cargas vivas y cargas de viento, y las cuales aplican para el reforzamiento estructural de edificaciones. Para edificaciones de baja altura, en este caso considerando un uso de vivienda, las cargas a considerar para el análisis en un reforzamiento estructural corresponden a:

Cargas muertas: Las cargas muertas consideradas en el Capítulo B.3 de la NSR-10, corresponden a las cargas muertas sobre impuestas de elementos no estructurales diferentes al peso propio de los elementos estructurales, que pueden ser verticales u horizontales como el enchape, los sobre pisos, las particiones (divisiones en mampostería), cielo raso entre otros. Para un diseño estructural o un estudio para el reforzamiento de una edificación de baja altura de uso de vivienda, las cargas muertas sobre impuestas mínimas más comunes a considerar pueden ser:

Fachadas y particiones de mampostería:	3.0 kN/m^2	(B.3.4.3)
Fachadas y particiones livianas:	2.0 kN/m^2	(B.3.4.3)
Afinado de piso y cubierta:	1.6 kN/m^2	(B.3.4.3)

Cargas vivas: Para el caso de edificaciones de baja altura según el Capítulo B.4 de la NSR-10, las cargas vivas para edificaciones de uso residencial corresponden a:

Balcones:	5.0 kN/m^2	(B.4.2.1)
Cuartos privados y sus corredores:	1.8 kN/m^2	(B.4.2.1)
Escaleras:	3.0 kN/m^2	(B.4.2.1)

De acuerdo a los requisitos mínimos de cargas expuestos del Título B de la NSR-10, es importante precisar que estas cargas mínimas por unidad de área son cargas que se distribuyen dentro de una losa de entrepiso y por ende se transmiten a las vigas principales del sistema de resistencia sísmica las cuales son soportadas por las columnas, la cimentación y son disipadas por el suelo.

Por consiguiente, dentro del título B, de la NSR-10, es importante destacar que existen las fuerzas de viento, las cuales no son tenidas en cuenta para el alcance de la presente investigación, ya que se habla de edificaciones de baja altura, y en el diseño del reforzamiento de edificaciones existentes de baja altura, se utilizan las fuerzas horizontales más predominantes entre las fuerzas sísmicas y las fuerzas de viento, y en este caso, las fuerzas horizontales generadas por un sismo son mucho mayores que las fuerzas de viento, razón por la cual no se detalla el análisis de las cargas mínimas de viento.

4.1.1.3 Título C - NSR-10. CONCRETO ESTRUCTURAL. Dentro de este literal del reglamento NSR-10, se establecen los requisitos y parámetros mínimos para el diseño de elementos estructurales en concreto reforzado. Es importante recalcar que del Título C de la NSR-10, se desglosan 23 sub capítulos, de los cuales a pesar de que todos son de suma importancia para el diseño estructural y sísmico, para el caso del seguimiento y control en proyectos de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, se mencionan los siguientes:

C.1.3 — Supervisión técnica. A pesar de que la supervisión técnica se desglosa completamente en el Titulo I, de la NSR-10, en el Titulo C, se establece el literal C.1.3.2: El

supervisor técnico debe exigir el cumplimiento de los planos y especificaciones de diseño. A menos que se especifique otra cosa en el Título I del Reglamento NSR-10, los registros de supervisión técnica deben incluir:

(a) Forma de entrega, colocación e informes de ensayos que documenten la cantidad, ubicación de la colocación, ensayos del concreto fresco, resistencia y otros ensayos para todas las clases de mezclas de concreto;

(b) Colocación y remoción de encofrados, cimbras y apuntalamientos;

(c) Colocación del refuerzo y anclajes;

(d) Mezclado, colocación y curado del concreto;

(e) Secuencia de montaje y conexión de elementos prefabricados;

(f) Tensionamiento de los tendones de preesforzado;

(g) Cualquier carga de construcción significativa aplicada sobre pisos, elementos o muros terminados;

(h) Avance general de la obra. (NSR-10, Titulo C. – C.1.3.2)

C.3.3 — Agregados. Según la NSR-10, el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe ser superior a:

(a) 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado. (NSR-10, C.3.3.2)

(b) 1/3 de la altura de la losa. (NSR-10, C.3.3.2)

(c) 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos. (NSR-10, C.3.3.2)

C.7.6 — Límites del espaciamiento del refuerzo. La distancia límite entre barras longitudinales paralelas en una misma capa no debe ser como mínimo el diámetro de la misma barra, pero no menor de 25 mm. (NSR-10 C.7.6.1)

C.7.7 – Protección de concreto para el refuerzo. Establece las distancias mínimas de recubrimiento según el nivel de exposición del concreto:

a) Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él: 75mm

b) Concreto expuesto al suelo o a la intemperie: Barra No.6 a No.18: 50mm

Barra No. 5 y menores: 40mm

c) Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:

Losas, muros y viguetas: No.14 a No.18: 40mm

No. 11 y menores: 20mm

Vigas y Columnas:

Armadura principal, estribos, espirales: 40mm

C.8.5 – Modulo de elasticidad. El módulo de elasticidad es una propiedad mecánica del concreto que mide su rigidez e indica cuanto se deforma el concreto dentro del rango elástico, el cual se calcula partiendo de la resistencia del concreto (f'_c) de diseño. En este caso la ecuación general para calcular el módulo de elasticidad del concreto (E_c) corresponde a:

$$E_c = 4700\sqrt{f'c}$$

De acuerdo a la ecuación general para la definición del módulo de elasticidad, es importante recalcar que este valor puede variar en la realidad, por lo tanto, es importante revisar el módulo de elasticidad del concreto utilizado en el diseño, y compararlo con el módulo de elasticidad del concreto en obra. Las variaciones en el E_c dependen básicamente de los

agregados pétreos utilizados para la mezcla de concreto, motivo por el cual, es de suma importancia la verificación de este valor en obra. Ya que según las recomendaciones de la NSR-10 CR.8.5.1, el valor del módulo de Elasticidad puede ser:

Para agregado grueso de origen ígneo:

$$E_c = w_c^{1.5}\ 0.047\sqrt{f_c'}\ \text{ en MPa}$$

Para agregado grueso de origen metamórfico:

$$E_c = w_c^{1.5}\ 0.041\sqrt{f_c'}\ \text{ en MPa}$$

Para agregado grueso de origen sedimentario:

$$E_c = w_c^{1.5}\ 0.031\sqrt{f_c'}\ \text{ en MPa}$$

El valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado, es:

$$E_c = w_c^{1.5}\ 0.034\sqrt{f_c'}\ \text{ en MPa}$$

Cuando no se disponga del valor de la masa unitaria del concreto (w_c), puede utilizarse:

Para agregado grueso de origen ígneo:

$$E_c = 5\,500\sqrt{f_c'}\ \text{ en MPa}$$

Para agregado grueso de origen metamórfico:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'}\ \text{ en MPa}$$

Para agregado grueso de origen sedimentario:

$$E_c = 3600\sqrt{f_c'}\ \text{ en MPa}$$

El valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado, es:

$$E_c = 3900\sqrt{f_c'} \text{ en MPa}$$

De acuerdo a las diferentes expresiones para el cálculo del módulo de elasticidad, es IMPORNTANTE verificar este valor en planos y memorias de cálculo estructural, ya que antes de comenzar las obras de reforzamiento estructural, se debe verificar que el proveedor de concreto presente diseño de mezclas con un módulo de elasticidad igual al considerado en los diseños del proyecto, puesto que este valor tiende a variar según la procedencia y calidad de los agregados disponibles.

C.8.13 – Viguetas en losas nervadas. De acuerdo a los requisitos para viguetas en losas aligeradas en una dirección, las cuales son típicas en edificaciones de baja altura, uno de los parámetros que se pueden verificar en edificaciones existentes corresponde a la geometría y disposición de las viguetas, las cuales según la norma deben cumplir los siguientes requisitos:

1. El ancho de las viguetas no debe ser menor que 100 mm en su parte superior y su ancho promedio no puede ser menor de 80 mm y su altura no puede ser mayor de 5 veces el ancho promedio. (NSR-10 C.8.13.2)

2. La separación máxima entre viguetas medidas de centro a centro no puede ser mayor que 2.5 veces el espesor total de la losa sin exceder 1.20m. (NSR-10 C.8.13.3)

3. La longitud máxima de las viguetas entre apoyos o vigas cargueras no debe ser mayor de 10 veces el espesor de la losa, sin exceder los 4.0 m. (NSR-10 C.8.13.3.1)

4. El espesor de la losa superior cuando se trate de aligeramientos permanentes no debe ser menor de 45 mm de espesor, pero a su vez no debe ser menor de 1/20 de la distancia libre entre viguetas. (NSR-10 C.8.13.5.2)

5. Cuando se utilicen aligerantes removibles el espesor de la losa superior no debe ser menor que 1/12 de la distancia libre entre viguetas ni menor que 50mm. (NSR-10 C.8.13.6.1)

C.9.5 – Control de deflexiones. Para el caso de diseño, reforzamiento o verificación de edificaciones existentes, según la norma NSR-10, existen requisitos mínimos para establecer la altura o espesor mínimo de vigas sin tener que calcular las deflexiones, en este caso, teniendo en cuenta que el sistema constructivo tradicional se conforma por muros en mampostería para las divisiones o particiones de una edificación de baja altura, los parámetros de espesores mínimos para vigas se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 1

Espesor mínimo para vigas no preesforzadas o losas en una dirección

Elementos	Simplemente Apoyados	Con un Extremo Continuo	Ambos Extremos continuos	En Voladizo
Losas Macizas en una dirección	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{19}$	$\frac{\ell}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{11}$	$\frac{\ell}{12}$	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{5}$

Nota. Tomado de NSR-10 CR.5.2.1

De acuerdo a la tabla 1, se puede apreciar que los valores de ℓ corresponden a la luz libre de una viga no presforzada o para vigas, viguetas y losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios y particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes. En pocas palabras, para el caso de uso de mampostería se puede emplear la tabla 1, en donde si se cumplen con esos límites de espesores de viga, no es necesario calcular las deflexiones a largo plazo. Por consiguiente, para el caso de vigas que no llevan particiones en mampostería o por el contrario cuando se usan particiones livianas, si no se quieren calcular deflexiones a largo plazo, los espesores de las vigas deben cumplir como mínimo los requisitos que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Espesor mínimo para vigas no preesforzadas sin particiones susceptibles a dañarse

Elementos	Simplemente Apoyados	Con un Extremo Continuo	Ambos Extremos continuos	En Voladizo
Losas Macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18.5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Nota. Tomado de NSR-10 C9.5.2.1

De acuerdo a la tabla 2, los espesores para vigas tienden a ser menores en comparación con los valores de la tabla 1, no obstante, esta tabla no se puede utilizar cuando se tengan particiones frágiles como el caso de la mampostería, puesto que se pueden presentar fisuraciones en muros, debido a procesos de deflexión y deformación de vigas por falta de peralte o refuerzo de la misma. Por consiguiente, con el motivo de generar factores de seguridad verificables a la

hora de realizar seguimientos a proceso de reforzamiento estructural, se deben verificar espesores de elementos tipo viga, teniendo en cuenta la tabla 1 y tabla 2, según corresponda.

C.11.4 — Resistencia al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante. De acuerdo a los criterios establecidos en el capítulo C.11.4 de la NSR-10, para el caso de métodos de reforzamiento estructural empleando hormigón armado, es importante tener en cuenta parámetros mínimos de chequeo para la verificación del refuerzo a cortante, el cual hace referencia a los estribos que se colocan a lo largo de un elemento estructural (viga o columna), y los cuales tienen un diámetro y una separación especifica establecida por medio de un diseño estructural, sin embargo, una forma rápida de verificar en obra el cumplimiento de parámetros mínimos de este refuerzo a cortante es comprobando que el espaciamiento de los estribos (s) no deben exceder:

$$s \leq d/2$$

En donde *d,* corresponde a la distancia medida desde la fibra extrema comprimida hasta el centroide del acero de tracción.

C.12.2 — Desarrollo de barras corrugadas y de alambres corrugados a tracción. La longitud de desarrollo conceptualmente corresponde a la longitud mínima de embebido de una barra dentro del concreto necesaria para desarrollar completamente su resistencia (fy) mediante adherencia. Aunque la longitud de desarrollo aplica a lo largo de cualquier elemento estructural, su verificación es importante y crítica en las zonas de anclaje, como lo son los nodos viga-columna, en donde se requiere garantizar la transferencia efectiva de esfuerzos entre elementos y

evitar fallas por deslizamiento del refuerzo monolítico de la estructura, especialmente bajo solicitaciones sísmicas, en este caso para barras sometidas a tracción, la longitud de desarrollo no debe ser menor que la calculada utilizando la siguiente tabla 3:

Tabla 3

Longitud de desarrollo para barras corrugadas sometidas a tracción

Espaciamiento y recubrimiento	**Barras No. 6 (3/4") ó 20M (20 mm) o menores y alambres corrugados**	**Barras No. 7 (7/8") ó 22M (22 mm) y mayores**
Espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo empalmados o desarrollados no menor que d_b, recubrimiento libre no menor que d_b y estribos a lo largo de ℓ_d no menos que el mínimo del Título C del Reglamento NSR-10, o espaciamiento libre entre barras no menor a $2d_b$ y recubrimiento libre no menor a d_b	$\left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{2.1\,\lambda\sqrt{f'c}}\right) * d_b$	$\left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{1.7\,\lambda\sqrt{f'c}}\right) * d_b$
Otros Casos	$\left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{1.4\,\lambda\sqrt{f'c}}\right) * d_b$	$\left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_{e*} * \lambda}{1.1\,\lambda\sqrt{f'c}}\right) * d_b$

Nota. Tomado del Literal C.12.2.2 de la NSR-10

De acuerdo a la tabla 3, los valores establecidos por norma para las variables de las expresiones matemáticas corresponden a:

ℓ_d: Longitud de desarrollo.

d_b: Diametro de la barra.

f_y: Resistencia a fluencia del acero. (420 MPa)

f′c: Resistencia a la compresión del concreto.

ψ_t: Factor por ubicación de la barra (barra superior). Cuando para el refuerzo horizontal se colocan más 300 mm de concreto fresco debajo de la longitud de desarrollo o un empalme, $\psi_t = 1.3$. Otras situaciones $\psi_t = 1.0$.

ψ_e: Factor de recubrimiento epóxico. Aplica cuando se realizan anclajes de barras introducidas al concreto existente, las cuales son ancladas por medio de un material epóxico que recubre la barra que se introduce, en este caso cuando existe recubrimiento el valor de $\psi_e = 1.5$. Cuando no existe recubrimiento epóxico el valor de $\psi_e = 1.0$

λ: Factor por tipo de concreto. Para concreto de peso normal $\lambda = 1.0$, y para concreto liviano $\lambda < 1.0$.

Por lo anterior, para tener en cuenta la longitud de desarrollo en proyectos de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, se consideran diferentes valores de longitud de desarrollo según el diámetro de barra y resistencia del concreto empleado. En este orden de ideas en la siguiente tabla 4, se puede apreciar la longitud de desarrollo calculada según el diámetro de la barra.

Tabla 4

Longitud de desarrollo según el diámetro de barra

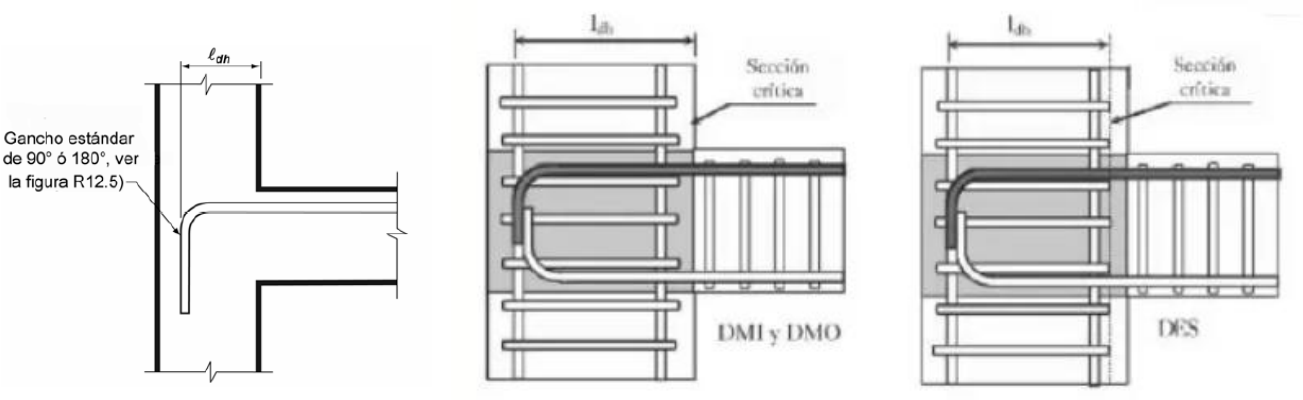
Diámetro de barra	db (mm)	f'c = 21 MPa ℓ_d(cm)	f'c = 24 MPa ℓ_d(cm)	f'c = 28 MPa ℓ_d(cm)
3/8"	9.53	41.6	38.9	36.0
1/2"	12.70	55.4	51.8	48.0
5/8"	15.88	69.3	64.8	60.0
3/4"	19.05	83.1	77.8	72.0

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 4, se menciona que la longitud de desarrollo establecida aplica para condiciones favorables de espaciamiento y recubrimiento, además el diámetro de barra establecido para la longitud de desarrollo varía de 3/8” a 3/4”, el cual son diámetros recomendados para edificaciones de baja altura, igualmente la longitud de desarrollo se calcula para diferentes valores de resistencia del concreto. Para entender mejor la longitud de desarrollo en la siguiente figura 8, se puede observar el esquema de una unión viga columna.

Figura 8

Esquema de longitud de desarrollo en nodo viga-columna según demanda sísmica



Nota. Fuente: Piña J. (2020)

De acuerdo a la figura 8, se puede apreciar que la longitud de desarrollo de una barra de refuerzo longitudinal en zona de amenaza sísmica intermedia y moderada (DMI y DMO), se cuenta a partir de la sección de la columna, por otra parte, para el caso de columnas con amenaza sísmica alta (DES), se considera la longitud de desarrollo medida desde el estribo de confinamiento.

C.12.5 — Desarrollo de ganchos estándar en tracción. Cuando la longitud de desarrollo es insuficiente para que una barra de refuerzo se desarrolle completamente en el nodo viga-columna, se tiene en cuenta el desarrollo del gancho estándar. La longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción que terminen en un gancho estándar ℓ_{dh} se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$l_{dh} = \left(\frac{0.24\psi_e f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$$

En donde:

d_b: diámetro de la barra

f_y: esfuerzo de fluencia

$f'c$: resistencia del concreto

ψ_e: 1.0 concreto normal; 0.75 concreto liviano

λ: 1.0 concreto normal; 0.75 concreto liviano

ℓ_{dh} no debe ser menor que el mayor de **8db** y 150 mm. (NSR-10 C.12.5.1)

De acuerdo a la ecuación para la longitud de desarrollo del gancho estándar en tracción propuesto según el literal C.12.5.2 NSR-10, se elabora una tabla con las resistencias de concretos y diámetros de varillas comúnmente usados en proyectos de edificaciones de baja altura, en donde se usan diámetros que van desde varilla de ¼" hasta varilla de ¾", y concretos que van de 21 MPa hasta 28 MPa. Ver tabla 5. Para el cálculo de los factores λ y ψ_e se utilizan valores para concreto normal, dado que, para el caso de estudio, en edificaciones de baja altura las técnicas para el uso de una mezcla de concreto consisten en métodos tradicionales usando triturado, arena, cemento y gua, sin utilizar aglutinantes o aligerantes adicionales a la mezcla. En este caso los valores de los factores corresponden a: $\lambda = \psi_e = 1.0$.

Tabla 5

Longitud de desarrollo de gancho estándar en tracción según el diámetro de barra

Diámetro de barra	db (mm)	f'c = 21 MPa ℓ_{dh}(cm)	f'c = 24 MPa ℓ_{dh}(cm)	f'c = 28 MPa ℓ_{dh}(cm)
3/8"	9.53	20.96	19.61	18.15
1/2"	12.70	27.94	26.13	24.19
5/8"	15.88	34.93	32.67	30.25
3/4"	19.05	41.90	39.20	36.29

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 5, se observan los ganchos de desarrollo según la varilla utilizada, sin embargo en la practica se presentan situaciones en donde la colocación de toda la longitud del gancho estándar puede causar algún impedimento en el arreglo de aceros de una edificación, situación que puede presentarse especialmente en los nodos viga columna en donde la viga no tiene continuidad y si la longitud de desarrollo de la varilla no es suficiente, debe contemplar el gancho estándar a tracción.

Por lo anterior, es posible reducir el gancho estándar según los parámetros establecidos por el literal C.12.5.3 — La longitud ℓ_{dh} en C.12.5.2 se puede multiplicar por los siguientes factores cuando corresponda:

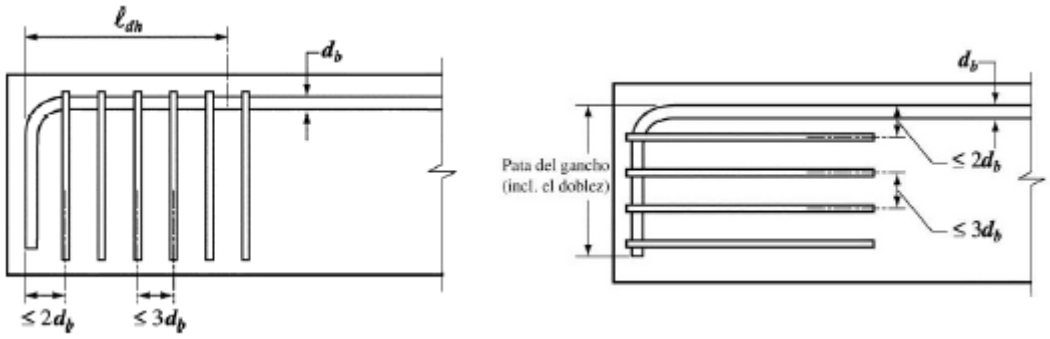
a) Cuando se use Ganchos de 90°, Recubrimiento lateral ≥ 65 mm y Extensión recta del gancho ≥ 50 mm. Multiplicar ℓ_{dh} por: 0.7

b) Cuando se usen ganchos de 90°, estribos de confinamiento paralelos o perpendiculares espaciados a no más de $3d_b$ y el primer estribo debe confinar la parte del gancho a una distancia menor de $2d_b$. Ver figura 9.

c) Cuando se usen ganchos de 180°, estribos perpendiculares con un espaciamiento menor igual a $3d_b$.

Figura 9

Estribos de confinamiento paralelos y perpendiculares al gancho estándar de 90°



Nota. Tomado de los comentarios de la NSR-10 Titulo C. CR12.5

De acuerdo a la figura 9, haciendo énfasis de los parámetros de la NSR-10 que se pueden implementar para el desarrollo de una guía metodológica para el reforzamiento de edificaciones de baja altura, es importante tener en cuenta el desarrollo del acero de refuerzo especialmente en los nodos viga-columna, en donde se recomienda dar continuidad a los estribos de confinamiento de la columna en el nodo, tal como se observa en la figura 8, en donde la pata del gancho debe quedar por dentro del estribo.

C.12.14 — Empalmes del refuerzo. Los empalmes por traslapo generalmente se presentan cuando se requieren o permitan en planos estructurales, o cuando se utilizan varillas con longitudes menores a las requeridas y deben ser superpuestas para transmitir los esfuerzos por adherencia. Para el caso de traslapos de barras corrugadas sometidas a tracción, corresponden a la longitud de desarrollo en tracción, establecido en la tabla 4, multiplicada por

un múltiplo que define el empalme por traslapo Clase A ($\mathbf{1.0}\ell_d$) o Clase B ($\mathbf{1.3}\ell_d$), pero no menor que 300 mm. (C.12.15.1-NSR-10). En este caso para definir que clase de traslapo utilizar, se cita el siguiente literal de la NSR-10:

> **C.12.15.2** — Los empalmes por traslapo de alambres y barras corrugadas sometidas a tracción deben ser empalmes por traslapo Clase B, excepto que se admiten empalmes por traslapo de Clase A cuando:
>
> (a) el área de refuerzo proporcionada es al menos el doble que la requerido por análisis a todo lo largo del empalme por traslapo y
>
> (b) la mitad, o menos, del refuerzo total está empalmado dentro de la longitud de empalme por traslapo requerido.

Con relación al traslapo en barras corrugadas sometidas a compresión, se debe usar la expresión $\mathbf{0.071}f_y d_b$, para valores de f_y igual a 420 MPa o menores. (C.12.16.1-NSR-10)

Capitulo C.21 Requisitos de diseño sismo resistente. Este capitulo es uno de los mas relevantes que cobra importancia a la hora de plantear un diseño estructural sismo resistente, ya que relaciona parámetros que deben cumplirse para considerar un sistema de concreto reforzado con diseño sísmico. En este orden de ideas, a continuación, se relacionan los parámetros más relevantes que pueden incluirse dentro del desarrollo de una guía metodológica para la supervisión de proyectos de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura.

> **C.21.3.4.5** — No se permiten empalmes por traslapo dentro de los nudos.

C.21.3.4.1 — Para vigas en zonas de amenaza sísmica intermedia DMO, el ancho del elemento, **bw**, no debe ser menor que 200 mm.

C.21.3.5.1 — Para el caso de zonas de amenaza sísmica intermedia DMO, la dimensión mínima en columnas no debe ser menor que 250 mm = 25cm.

C.21.5.1.3 — Para vigas en zonas de amenaza sísmica alta DES, el ancho del elemento, bw , no debe ser menor que el más pequeño de 0.3h y 250 mm.

C.21.6.1.1 — Para el caso de zonas de amenaza sísmica alta DES, la dimensión mínima en columnas no debe ser menor que 300mm = 30cm.

C.21.5.3.2 — El primer estribo cerrado de confinamiento debe estar situado a no más de 50 mm de la cara del elemento de apoyo. Para DMO y DES, el espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder el menor de (a), (b), (c) y (d):

(a) d/4;

(b) Ocho veces el diámetro de las barras longitudinales más pequeñas.

(c) 24 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento, y

(d) 300 mm.

4.1.1.4 Título D - NSR-10. MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL. Según la NSR-10, la mampostería puede ser:

Mampostería de cavidad reforzada. Es un sistema compuesto por dos hojas paralelas de mampostería, separadas por un núcleo continuo de concreto reforzado que actúa de manera conjunta en ambas caras, el cual clasifica para un sistema de resistencia sísmica DES. (NSR-10 D.2.1.1)

Mampostería reforzada. Se construye a partir de unidades con perforaciones verticales, en las cuales se dispone refuerzo relleno con mortero. El comportamiento estructural del sistema depende del grado de inyección de las celdas, siendo más eficiente cuando estas se encuentran completamente rellenas, ya que se mejora la capacidad resistente y la respuesta ante solicitaciones sísmicas. Clasifica para un sistema de resistencia sísmica DES. (NSR-10 D.2.1.2)

Mampostería parcialmente reforzada. Se caracteriza por la disposición de refuerzo únicamente en algunas celdas de las unidades, lo que implica una menor capacidad estructural en comparación con la mampostería totalmente reforzada. Clasifica para un sistema de resistencia sísmica con capacidad de disipación de energía moderada DMO. (NSR-10 D.2.1.3)

Mampostería no reforzada. Está compuesta por piezas de mampostería unidas mediante mortero, sin la incorporación de acero estructural. Clasifica para sistemas de resistencia sísmica con capacidad mínima de disipación de energía DMI. (NSR-10 D.2.1.4)

Mampostería de muros confinados. Consiste en la integración de muros de mampostería no reforzada con elementos de concreto reforzado, tales como columnas de confinamiento y

vigas de amarre, que delimitan y refuerzan el sistema. Clasifica para diseños sismo resistentes con capacidad moderada de disipación de energía. DMO. (NSR-10 D.2.1.4)

Mampostería de muros diafragma. Corresponden a elementos que se disponen dentro de sistemas aporticado (vigas y columnas) con el fin de restringir los desplazamientos laterales de la estructura. Su función principal es aportar rigidez al sistema estructural; No se permite en edificaciones nuevas, solo para procesos de evaluación o intervención de estructuras existentes. (NSR-10 D.2.1.5)

Mampostería reforzada externamente. La mampostería reforzada externamente se caracteriza por la colocación de refuerzo sobre la superficie del muro, generalmente embebido en una capa de recubrimiento, y anclado al elemento mediante conectores mecánicos. Este sistema es comúnmente utilizado en procesos de intervención estructural, ya que permite mejorar la capacidad resistente del muro sin modificar de manera significativa su configuración original. (NSR-10 D.2.1.6)

Teniendo en cuenta el alcance de la presente investigación para el caso del reforzamiento estructural de edificaciones de baja altura, toma relevancia el uso de la mampostería reforzada externamente, el cual es claramente un método que sirve para el reforzamiento de edificaciones existentes siguiendo los lineamientos del capitulo C.12, en donde se establece lo siguiente:

D.12.1.3 Espesor mínimo: el espesor total de un muro no debe ser menor de 130 mm. (90mm espesor del muro sin revoque y 20mm espesor mínimo del revoque en cada lado del muro).

D.12.3.2 Refuerzo mínimo: se debe colocar malla electrosoldada que cumpla las siguientes cuantías evaluadas con respecto al área bruta del muro (incluyendo espesor de mortero).

Refuerzo vertical mínimo…….…….0.00035

Refuerzo horizontal mínimo……..0.00035

La separación del refuerzo de la malla electrosoldada tanto vertical como horizontal no debe ser mayor de 300mm. (NSR-10 D.12.3.2.1)

D.12.3.3 Anclaje del refuerzo: Para anclar la malla electrosoldada al muro de mampostería, se puede utilizar mínimo 9 clavos por m2, de acero de diámetro mínimo 3mm y la cabeza del clavo debe quedar salida del muro por lo menos 10mm.

4.1.1.5 Título E - NSR-10. CASA DE UNO Y DOS PISOS. Según la norma NSR-10, establece criterios simplificados para el diseño y construcción de viviendas de uno y dos pisos.

En este caso, los parámetros establecidos en el Titulo E, que pueden considerarse relevantes al desarrollo de la investigación corresponden a:

E.3.2.1.1 Unidades de mampostería en Concreto. Deben cumplir con la norma NTC 4026, para bloque con perforación vertical ASTM C90, para ladrillo de concreto macizo ASTM C55, y para unidades de concreto de resistencia baja ASTM C129.

E.3.2.1.2 Unidades de mampostería en Arcilla. Deben cumplir con la norma NTC 4205, para bloque de perforación vertical ASTM C34, para ladrillo de arcilla macizo ASTM C62, y para unidades de arcilla de resistencia baja ASTM C56, C212, C216.

4.1.1.6 Título F - NSR-10. ESTRUCTURAS METALICAS. Este Titulo proporciona los criterios fundamentales para el diseño de elementos y conexiones en acero estructural, el cual es relevante en intervenciones de reforzamiento de edificaciones de baja altura, ya que existen métodos de reforzamiento estructural en donde se emplea el uso de encamisado de acero o la incorporación de elementos metálicos soldados. En este sentido, se detalla a continuación las actividades de inspección para la implementación de conexiones de elementos metálicos estructurales soldados (Ver Tabla 6, 7 y 8) y pernadas (Ver tabla 9,10 y 11).

Tabla 6

Actividades de inspección previas a la soldadura

Descripción de Actividades	Control de Calidad	Supervisión Técnica
Disponibilidad de los procedimientos de soldadura (WPS)	P	P
Disponibilidad de los certificados del productor para los consumibles de soldadura	P	P
Identificación del material	O	O
Sistema de identificación de los soldadores (trazabilidad)	O	O
Ajuste de las soldaduras acanaladas (Incluyendo la geometría)		
- Preparación de la junta	O	O
- Dimensiones (alineación, abertura de raíz, cara de la raíz, bisel)	O	O
- Limpieza (condición de las superficies de acero)	O	O
- Punteado (calidad y localización de los puntos de soldadura)	O	O
- Tipo y ajuste de las platinas de respaldo	O	O
Configuración y acabado de los agujeros de acceso	O	O
Ajuste de las soldaduras de filete		
- Dimensiones (alineación, separación en la raíz)	O	O
- Limpieza (condición de las superficies de acero)	O	O
- Punteado (calidad y localización de los puntos de soldadura)	O	O
Revisión de los equipos de soldadura	O	-

Nota. Tomado de F.2.14.5.4 – NSR-10.

De acuerdo a la tabla 6, el control de calidad y supervisión técnica están representados por una “O” y una “P”, que significan:

“O” – Observación aleatoria. Inspección en obra, se verifica directamente en campo.

“P” – Practicar estas tareas sobre cada junta soldada o miembro.

Tabla 7

Actividades de inspección Durante la soldadura

Descripción de Actividades	Control de Calidad	Supervisión Técnica
Empleo de soldadores calificados	O	O
Control y manipulación de los consumibles de soldadura		
- Empaque	O	O
- Control de exposición	O	O
Control para evitar soldaduras sobre puntos de soldadura agrietados	O	O
Condiciones ambientales		
- Velocidad del viento por debajo del límite	O	O
- Precipitación y temperatura	O	O
Cumplimiento de los procedimientos de soldadura (WPS)		
- Selección de parámetros en el equipo de soldadura	O	O
- Velocidad de avance	O	O
- Uso de los materiales de soldadura seleccionados	O	O
- Tipo y rata de flujo del gas	O	O
- Precalentamiento	O	O
- Mantenimiento de la temperatura entre pases (min/máx)	O	O
- Posición adecuada	O	O
Técnicas de soldadura		
- Limpieza entre pases y limpieza final	O	O
- Ajuste a las dimensiones del perfil en cada pase	O	O
- Cumplimiento de los requerimientos de calidad en cada pase	O	O

Nota. Tomado de F.2.14.5.4 – NSR-10.

De acuerdo a la tabla 7, se aprecia que todas las actividades de inspección durante el proceso de soldadura en estructuras metálicas son totalmente de observación, en donde se verifican durante el proceso de soldadura en campo. Por consiguiente, luego de terminado el

proceso de soldadura, la inspección a realizar solo requiere de una observación para la verificación de actividades de limpieza, ya que para el resto de actividades de supervisión e inspección, se deben verificar la soldadura verificada de acuerdo a lo establecido en la Tabla 8.

Tabla 8

Actividades de Inspección sobre la Soldadura Terminada

Descripción	Control de Calidad	Supervisión Técnica
Limpieza	O	O
Tamaño, longitud y localización de las soldaduras	P	P
Criterios visuales de aceptación - Grietas - Fusión soldadura - metal base - Perfiles de soldadura - Tamaño de la soldadura - Socavación - Porosidad	P	P
Golpes de arco	P	P
Soldaduras en la "zona k" (cuando las soldaduras de placas de enchape, platinas de continuidad o rigidizadores involucren la "zona k", el alma en esta zona debe inspeccionarse visualmente hasta una distancia de 75 mm desde la soldadura para detectar la presencia de grietas)	P	P
Remoción de las platinas de respaldo y puntos de soldadura, cuando se requiera	P	P
Actividades de reparación	P	P
Documentación de la aceptación o rechazo de la junta o miembro	P	P

Nota. Tomado de F.2.14.5.4 – NSR-10.

Por consiguiente, siguiendo los parámetros del Titulo F de la NSR-10, se considera relevante para la investigación, algunos sistemas de reforzamiento con estructuras metálicas que pueda hacer uso de conexiones por pernos, por lo cual antes de comenzar con el pernado de una conexión, se deben realizar actividades de inspección establecidas por la NSR-10, las cuales se aprecian en la siguiente tabla 9.

Tabla 9

Actividades de inspección previas a la instalación de los pernos

Descripción	Control de Calidad	Supervisión Técnica
Disponibilidad de los certificados del productor de los pernos, tuercas y arandelas	O	P
Marcado de los pernos de acuerdo con las normas ASTM	O	O
Adecuada selección de los pernos para el detalle de la junta (grado, tipo, longitud adecuada cuando las roscas deben quedar excluidas del plano de corte)	O	O
Selección adecuada del procedimiento de instalación para el detalle de la junta	O	O
Revisión de los elementos de conexión, incluyendo la adecuada preparación de las superficies de contacto, cuando se requiera	O	O
Ensayos de calibración y verificación previos a la instalación, por el personal de instalación, para los conjuntos de pernos y tuercas y los métodos a utilizarse, observados y documentados	P	O
Adecuado almacenamiento de los pernos, tuercas, arandelas y otros componentes	O	O

Nota. Tomado de F.2.14.5.4 – NSR-10.

Con relación a las actividades de inspección durante el proceso de pernado, según la norma NSR-10, solo se verifican actividades de observación. Ver tabla 10.

Tabla 10

Actividades de inspección durante la instalación de los pernos

Descripción	Control de Calidad	Supervisión Técnica
Conjuntos de pernos y tuercas en condiciones adecuadas, instalados en todas las perforaciones y posicionados según se requiere	O	O
Junta llevada a la condición de apriete ajustado antes del pretensionados	O	O
Restricción de la rotación del componente del conector al que no se aplica giro	O	O
Pernos pretensionados de acuerdo con un método aprobado por el RCSC, y avanzando progresivamente desde el punto más rígido hacia los bordes libres	O	O

Nota. Tomado de F.2.14.5 – NSR-10.

De acuerdo a la figura 10, con relación a las actividades de inspección de pernos luego de la instalación, según el literal F.2.14.5 de la NSR-10, esta actividad corresponde a la verificación y registro de la aceptación o rechazo de las juntas pernadas, en donde se verifica la instalación, de los pernos correctamente apretados y que coincidan con lo establecido en diseños.

4.1.1.7 Título G - NSR-10. ESTRUCTURAS DE MADERA Y ESTRUCTURAS DE GUADUA.

Este apartado de la norma, establece los lineamientos para el diseño y construcción de estructuras en madera, considerando sus propiedades particulares, la importancia de las conexiones y las condiciones de durabilidad, con el fin de garantizar un comportamiento estructural seguro. En este contexto se relacionan algunos de los literales que pueden ser relevantes para el proceso de la presente investigación:

G.11.4.4 — Protección contra la humedad. Debido a su naturaleza porosa e higroscópica, la madera tiene la capacidad de absorber agua tanto en estado líquido como en forma de vapor. Cuando la humedad se acumula, se ven afectadas sus propiedades mecánicas, aumenta su conductividad eléctrica y se vuelve susceptible al deterioro por pudrición y ataque de hongos. Esta humedad puede ingresar por capilaridad, exposición a la lluvia o procesos de condensación. En este caso la norma establece los siguientes parámetros:

(a) La madera que esté en contacto directo con el terreno o sometida a condiciones de alta humedad debe contar con tratamiento de preservación conforme a lo indicado en el numeral G.11.2.2.

(b) Cualquier elemento de madera, sea estructural o no, que se encuentre expuesto directamente a la lluvia debe protegerse mediante el uso de productos hidrófugos o mediante la aplicación de recubrimientos impermeables.

(c) Los elementos estructurales expuestos a la intemperie deben disponerse sobre zócalos o apoyos de concreto o metálicos, evitando así el contacto con agua estancada. Adicionalmente,

estos elementos, al igual que los revestimientos de madera en fachadas, deben protegerse mediante aleros o dispositivos que desvíen el agua.

(d) Para evitar la formación de condensación, es fundamental impedir la existencia de espacios sin ventilación, especialmente en zonas húmedas. En recintos donde se genere vapor, como baños y cocinas, además de garantizar ventilación adecuada, se deben proteger las superficies expuestas mediante recubrimientos impermeables.

G.11.4.5 — Protección contra los hongos. Los hongos que afectan la madera son organismos de origen vegetal que se alimentan de sus componentes, provocando su deterioro. Su desarrollo ocurre principalmente en condiciones de humedad y temperatura favorables, ya sea por esporas transportadas por el aire o por contacto directo con superficies contaminadas. Por consiguiente, según la NSR-10 g.11.4.5, se debe tener en cuenta:

(a) Se debe emplear madera que haya sido almacenada en condiciones controladas de baja humedad y que haya recibido tratamiento fungicida durante su apilamiento.

(b) No debe utilizarse madera que presente signos de deterioro, como presencia de hongos o putrefacción.

(c) El deterioro por hongos puede prevenirse manteniendo el contenido de humedad de la madera por debajo del 18%. Además, es necesario aplicar tratamientos preservantes, particularmente en maderas de baja resistencia natural y en la albura de cualquier especie.

(d) Debe evitarse el uso de clavos u otros elementos metálicos que atraviesen la madera en zonas expuestas a la lluvia, a menos que los orificios sean sellados adecuadamente. Se recomienda el uso de elementos galvanizados para reducir el riesgo de corrosión.

G.11.4.6 — Protección contra insectos. La madera también puede ser afectada por insectos, especialmente en climas cálidos y húmedos, donde estos organismos perforan su estructura en busca de alimento. Entre los más comunes se encuentran las termitas subterráneas, los gorgojos y los comejenes. Por lo cual se debe tener en cuenta los siguientes controles:

(a) En zonas donde exista presencia de termitas subterráneas, se deben retirar los residuos orgánicos alrededor de la edificación y ejecutar barreras de suelo tratado con insecticidas hasta la profundidad de la cimentación.

(b) Cuando haya riesgo de termitas subterráneas y aladas, deben instalarse barreras o escudos metálicos continuos sobre las superficies de la cimentación para impedir su ingreso.

(c) En condiciones de alto riesgo de ataque biológico, la madera empleada en la construcción debe ser tratada mediante métodos preservantes, conforme a lo indicado en el numeral G.11.2.2.

4.1.1.8 Título H - NSR-10. ESTUDIOS GEOTECNICOS. Establece los criterios para el estudio del suelo y el diseño de cimentaciones, estableciendo factores de seguridad para la capacidad portante de cimentaciones superficiales y profundas.

Dentro de los capítulos y parámetros establecidos en el Titulo H de la norma NSR-10, vale la pena mencionar el Capitulo H.10, el cual relaciona la Rehabilitación sísmica de edificios: Amenazas de origen sismo geotécnico y reforzamiento de cimentaciones, en donde se destaca lo siguiente:

H.10.2.1.1 — Condiciones del sitio de cimentación. Para evaluar adecuadamente la capacidad portante del suelo y determinar posibles riesgos sismo-geotécnicos, es necesario contar con una caracterización detallada del subsuelo. Esto implica disponer de información clara que se relaciona a continuación:

(a) Tipo de cimentación (zapatas, losas, pilotes o pilas).

(b) Las dimensiones de los elementos de cimentación.

(c) Los materiales y el procedimiento constructivo para el caso de pilotes si son vaciados o hincados.

Adicionalmente, se requiere una caracterización geotécnica del suelo que incluya su tipo, composición, consistencia, densidad relativa y estratigrafía, hasta una profundidad donde los esfuerzos transmitidos por la estructura representen aproximadamente el 10% de la carga total distribuida sobre la cimentación.

H.10.5 Rehabilitación del suelo y cimientos. En un sistema de reforzamiento estructural de una edificación, cuando se determinan falencias en la cimentación, se pueden adicionar

nuevas zapatas y losas para soportar elementos estructurales como muros y pórticos, no obstante cuando se considere necesario, se pueden ampliar o agrandar las zapatas existentes para incrementar su capacidad o resistencia a la tracción.

Cuando exista riesgo de desplazamientos laterales diferenciales en las cimentaciones, se deben implementar soluciones como vigas de equilibrio o losas reforzadas que permitan controlar estos efectos. Asimismo, el uso de anclajes puede ser necesario cuando el análisis lo indique, siempre bajo criterio del ingeniero geotecnista. (Literal H.10.5.2 – NSR-10)

4.1.1.9 Título I - NSR-10. SUPERVISIÓN TECNICA. Establece los requisitos para garantizar que la obra se ejecute conforme a los diseños, planos y especificaciones, asegurando la calidad y seguridad estructural. Dentro del Titulo I de la NSR-10, se destacan los siguientes capítulos:

Capitulo I.1.2 Obligatoriedad de la Supervisión técnica independiente. De acuerdo al Titulo I de la NSR-10, las obligaciones para contar con una supervisión técnica independiente para algunas edificaciones, se establece de acuerdo a los siguientes parámetros:

I.1.2.1 — Edificaciones con un área superior a 2000 m2. De acuerdo al artículo 4 de la Ley 1796 de 2016, la construcción de edificaciones que tengan un área construida igual o superior a dos mil metros cuadrados (2.000 m2), o que teniendo menos metraje tengan la posibilidad de alcanzar los dos mil metros cuadrados (2.000 m2) mediante ampliaciones, deberán someterse a una supervisión técnica independiente.

I.1.2.1.1 — Edificaciones diseñadas y construidas de acuerdo con el Título E del Reglamento NSR-10. Las edificaciones diseñadas y construidas bajo el Título E (baja complejidad) no están obligadas a supervisión independiente.

I.1.2.1.2 — Supervisión técnica independiente exigida por los diseñadores. Cuando se realiza un tramite de licencia de construcción, por lo general en el diligenciamiento del formulario único por parte del diseñador estructural se da la opción de la supervisión técnica obligatoria, por consiguiente, en este caso el Literal I.1.2.1.2 de la NSR-10, respalda la decisión de obligar al constructor a contar con una supervisión técnica siempre y cuando el diseñador estructural lo considere necesario.

I.1.2.1.3 — Edificaciones de los Grupos de Uso III y IV. Las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, independientemente de su área, deben someterse a una supervisión técnica independiente.

I.1.2.1.4 — Obligaciones del constructor. A pesar de que un proyecto cuente con supervisión técnica o no, el constructor esta obligado a cumplir con controles de calidad y garantizar que la edificación se ejecute con forme a planos diseños y especificaciones.

I.1.2.2 — Edificaciones con un área inferior a 2000 m2. Edificaciones con menor área, no requieren de supervisión técnica, pero deben ejecutarse con forme a lo establecido a la licencia de construcción, en donde la responsabilidad recae en el Constructor, diseñador estructural y Titular de la licencia.

I.2.3 — Alcance de la supervisión técnica. De acuerdo a la norma, el alcance de la supervisión técnica debe cubrir como mínimo los siguientes aspectos:

(a) Aprobar el programa de control de calidad propuesto por el constructor.

(b) Aprobar los laboratorios encargados de los ensayos de calidad.

(c) Verificar que se realicen los ensayos y controles de materiales exigidos por la norma.

(d) Aprobar los procedimientos constructivos del constructor.

(e) Exigir correcciones o ajustes en planos incompletos o con errores.

(f) Solicitar al geotecnista recomendaciones adicionales si el estudio es insuficiente.

(g) Llevar un registro escrito y actualizado de todas las actividades de obra.

(h) Velar por la calidad general de la construcción en todo momento.

(i) Advertir por escrito y exigir correcciones sobre deficiencias en materiales, procesos.

(j) Recomendar la suspensión de obra si no se cumplen planos o normas.

(k) Rechazar elementos construidos que no cumplan especificaciones.

(l) Ordenar estudios y medidas correctivas, supervisando las reparaciones.

(m) Recomendar la demolición si no es posible reparar adecuadamente.

(n) Emitir la constancia final de supervisión técnica. (NSR-10- I.2.3.1)

I.2.4 — Controles exigidos. De acuerdo a los lineamientos normativos, el supervisor técnico independiente debe realizar dentro del alcance de los trabajos controles de planos, especificaciones y materiales.

I.2.4.2 — Control de planos. El control de planos por parte del Supervisor Técnico Independiente consistirá, como mínimo, en verificar que en obra se utilicen los planos aprobados

en la licencia de construcción. Su función no incluye revisar ni corregir el diseño estructural, ya que no actúa como revisor de diseños. Si a juicio del Supervisor Técnico Independiente existe un error u omisión grave en los diseños y estudios, se limitará a dar aviso oportuno al diseñador o autor de los estudios correspondientes, quien debe emitir un concepto al respecto.

I.2.4.3 — Control de Especificaciones. Se debe llevar a cabo un correcto control de especificaciones de acuerdo al diseño estructural, no obstante, de acuerdo al literal I.4.3.2 de la NSR-10, recomienda para el ejercicio de la supervisión que el supervisor debe recopilar las especificaciones técnicas establecidas que debe cumplir la construcción y entregar copia al constructor, además de ser aprobado por el propietario antes de iniciar las obras. Este documento según el literal I.4.3.2.1 de la NSR-10, debe contener:

(a) Especificaciones para estructuras de concreto reforzado

(b) Especificaciones para estructuras metálicas

(c) Comentarios técnicos de apoyo

(d) Control de calidad de materiales para el concreto

(e) Control de calidad de materiales en estructuras de mampostería estructural

I.2.4.4 — Control de Materiales. Cuando en un proyecto se cuente con supervisión técnica independiente, el supervisor dentro del programa de control de calidad, puede exigir y aprobar al constructor la frecuencia de toma de muestras y numero de ensayos que deben realizarse. En este caso según el Literal I.4.3.4 de la NSR-10, es responsabilidad del supervisor verificar que el laboratorio para la realización de ensayos, cumpla con todas las disposiciones legales y cuente con los equipos previamente calibrados.

I.2.4.6 — Control de ejecución. El supervisor técnico independiente debe inspeccionar como mínimo, los parámetros establecidos en la siguiente tabla 11.

Tabla 11

Controles del supervisor técnico durante la ejecución de la obra

Operación	Supervisión grado A (Continua)	Supervisión grado B (Itinerante)
CIMENTACIÓN		
Replanteo geométrico	●	
Dimensiones geométricas de las excavaciones para fundaciones	●	
Limpieza de fondo de las excavaciones	●	
Sistema de drenaje	●	●
Estratos y niveles de fundación	●	●
Protección de las excavaciones	●	●
CONSTRUCCIÓN Y RETIRO DE FORMALETAS Y OBRAS FALSAS DE MONTAJE		
Alineamiento, características geométricas, ubicación y tolerancias	●	
Acabado de las superficies y su verticalidad	●	
Resistencia y estabilidad ante posibles asentamientos	●	●
Aprobación de los cálculos de la cimbra	●	
Limpieza e impermeabilidad	●	
Aberturas de inspección	●	
Descimbrado – Aprobación del estudio y revisión del proceso	●	●
COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS		
Grado del acero (fy), diámetro, número de barras, ganchos y longitud	●	●
Empalmes (traslapados, conexiones mecánicas o soldadas)	●	●
Colocación, recubrimientos, distancia entre barras, sujeción	●	●
Limpieza de las barras y de la zona de vaciado y aspecto superficial	●	●
MEZCLADO, TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y CURADO DE CONCRETOS Y MORTEROS		
Aprobación de los diseños de mezclas	●	●
Medios y procedimientos del mezclado	●	●
Medios y procedimientos del transporte	●	●
Medios y procedimientos de colocación y compactación	●	●
Medidas y procedimientos para la toma de muestras	●	●
Tiempo transcurrido entre mezcla y colocación	●	
Homogeneidad y consistencia de los concretos y morteros en estado fresco	●	
Provisiones para vaciado de acuerdo con el clima y el estado del tiempo	●	
Definición de juntas de construcción	●	●
Preparación de superficies, de juntas de construcción y juntas de dilatación	●	●
Sistemas y procedimientos de curado	●	●

Nota. Fuente: Tomado de I.4.3.7 – NSR-10.

De acuerdo a la tabla 11, es importante mencionar que solo se relacionan algunos parámetros de control para la ejecución de obras mas relevantes con relación al tema de estudio de la presente investigación. Por consiguiente, con respecto a las columnas de Supervisión Grado A y Grado B, según la norma se refiere a:

I.4.2.2 — GRADO A — supervisión técnica independiente continua. Es aquella en la cual todas las labores de construcción se supervisan de una manera permanente. Supervisión permanente en obra, donde el supervisor o su auxiliar está presente de forma constante, realizando controles continuos durante la ejecución.

I.4.2.3 — GRADO B — Supervisión técnica independiente itinerante. Supervisión mediante visitas periódicas, donde el supervisor verifica la obra en momentos clave. No es necesario tener en obra un auxiliar residente para el seguimiento diario.

I.3.2 — Idoneidad del Supervisor técnico. En este apartado la norma estable las profesiones, la experiencia del supervisor técnico, el cual debe laborar de forma independiente al constructor de la edificación. El supervisor técnico debe ser un profesional titulado (ingeniero civil, arquitecto o constructor en arquitectura e ingeniería) con matrícula vigente. En el caso de estructuras metálicas, también puede ser ingeniero mecánico debidamente habilitado. (NSR-10-I.3.2.1). Debe acreditar mínimo cinco (5) años de experiencia profesional, bajo la dirección de un profesional competente, en actividades como diseño estructural, construcción, interventoría o supervisión técnica. (NSR-10 – I.3.2.2)

4.1.1.10 Título J - NSR-10. REQUISITOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN EDIFICACIONES.

Establece los criterios mínimos para garantizar la seguridad de las edificaciones frente al fuego, buscando proteger la vida de los ocupantes, facilitar la evacuación y reducir la propagación del incendio. En este orden de ideas, con relación a los parámetros que pueden ser relevantes para el desarrollo de la presente investigación se menciona lo siguiente:

J.3.1 — Clasificación de las edificaciones según el tipo de construcción. Teniendo en cuenta que por lo general las edificaciones de baja altura están conformada por una estructura de pórticos resistentes a momentos o compuesta por muros confinados, en este caso, según el Literal J.3.1 de la NSR-10, clasifica como un sistema básico que no esta obligado a contar con rociadores contra incendios.

Es importante resaltar que cualquier proceso de reforzamiento estructural debe cumplir con los parámetros de diseño de los diferentes títulos que conforman el reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10, especialmente cuando se utilicen métodos de reforzamiento que involucren concreto reforzado. Por consiguiente, en la tabla 12, se puede apreciar el resumen de los lineamientos más importantes que deben considerarse a la hora de llevar a cabo proyectos de reforzamiento estructural enfocado a edificaciones de baja altura, teniendo en cuenta que los lineamientos relacionados deben convertirse en parámetros de verificación a la hora de llevar a cabo las labores necesarias para la ejecución de las obras, puesto que el alcance de la presente investigación, es proponer una guía metodológica para la supervisión en proyectos de supervisión, mas no incluye la supervisión, en la etapa de diseño.

Tabla 12

Lineamientos para supervisión en proyectos de reforzamiento estructural

Ítem	Lineamiento	Variable de control	Método de verificación	Referencia NSR-10
1	Identificación del sistema estructural	Tipo de sistema	Revisión de planos y visita técnica	A.3.2
2	Necesidad de reforzamiento	Cambio de uso, ampliaciones, daño	Diagnóstico estructural	A.10
3	Evaluación de cargas	Cargas muertas y vivas	Revisión de memorias	B.3 – B.4
4	Compatibilidad estructural	Continuidad y rigidez	Inspección técnica	A.10
5	Control del concreto	f'c, agregado, colocación	Ensayos y observación	C.3.3 – C.1.3
6	Módulo de elasticidad	Ec vs diseño	Verificación mezcla	C.8.5
7	Control del acero	Recubrimiento, separación	Medición en obra	C.7.6 – C.7.7
8	Refuerzo a cortante	$s \leq d/2$	Medición directa	C.11.4
9	Anclajes y adherencia	Longitud de desarrollo	Medición y planos	C.12.2
10	Ganchos estándar	Longitud de gancho	Inspección	C.12.5
11	Empalmes	Tipo y longitud	Inspección	C.12.14
12	Nodos viga-columna	Confinamiento	Inspección	C.12
13	Losas y viguetas	Separación y espesor	Medición	C.8.13
14	Control de deflexiones	Relación l/h	Revisión geométrica	C.9.5
15	Procedimientos constructivos	Secuencia de obra	Observación	C.1.3.2
16	Ensayos de calidad	Slump, resistencia	Control documental	C.1.3.2
17	Supervisión técnica	Registro de actividades	Bitácora	C.1.3.2 / Título I
18	Interacción suelo-estructura	Condiciones de cimentación	Estudio geotécnico	A.10
19	Intervención en cimentaciones	Tipo de refuerzo	Inspección	A.10
20	Control de ejecución de actividades	Cumplimiento de planos	Inspección continua	Título I

Nota. Elaboración propia.

4.1.2 Norma Americana ACI-562 Evaluación y rehabilitación de estructuras existentes

Esta norma ACI-562, es una norma Americana Internacional que hace parte del Instituto Americano del Concreto, y contiene los requisitos para la evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras existentes de concreto, con la intención de salvaguardar la seguridad de las edificaciones existentes proporcionando requisitos estructurales mínimos para elementos, y sistemas de concreto reforzado. En este caso para efectos de la presente investigación se mencionan algunos parámetros relevantes del ACI-562.

ACI-562-6.3 Propiedades de los materiales. Con relación a la resistencia a la compresión del concreto existente en una edificación, para una correcta comprobación de vulnerabilidad estructural, se deben tomar pruebas de resistencia de concreto mediante extracción de núcleos y ensayados posteriormente en laboratorio, y según la norma ACI-562, los resultados de resistencia de los núcleos extraídos, deben estar acorde a los establecidos en la siguiente tabla 13.

Tabla 13

Resistencia a la compresión de concreto reforzado existente en psi

Período de tiempo	Zapatas	Vigas	Losas	Columnas	Muros
1900–1919	1000	2000	1500	1500	1000
1920–1949	1500	2000	2000	2000	2000
1950–1969	2500	3000	3000	3000	2500
1970–presente	3000	3000	3000	3000	3000

Nota. Tomado de la ACI-562, y adoptado de ASCE/SEI 41.

4.1.3 Norma Americana ACI 440 (Refuerzo con FRP)

Esta norma establece los criterios para el uso de materiales compuestos reforzados con fibras (FRP) como sistema de reforzamiento estructural externo, orientado a incrementar la resistencia, rigidez y ductilidad de elementos existentes sin aumentar significativamente su peso.

ACI 440 -12.1 Compresión axial pura, el método de fibras FRP, se puede utilizar para aumentar la comprensión axial en columnas mediante el confinamiento con una envoltura de FRP el cual deja el elemento completamente envuelto, así mismo se aplica para el caso de vigas,

en donde no siempre es practico envolver el elemento completo, se permite envolver 3 caras del elemento viga en forma de U.

4.1.4 Decreto Numero 1401 de 2023

Este decreto modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, modificando la sección A.10.9.2.7 Edificaciones de vivienda de mampostería, en donde se establece que, para edificaciones de uno, dos y tres pisos construidos en mampostería, la evaluación e intervención se debe llevar a cabo siguiendo los requisitos de la norma AIS 410-23. *Evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de Mampostería,* el cual tiene un alcance enfocado para ser usado en viviendas de origen informal en el territorio colombiano que use muros en mampostería y para una altura no mayor de 3 niveles. Según el literal 1.2.2 de la AIS 410-23, los limites para la aplicabilidad de este documento se puede apreciar en la siguiente tabla 14.

Tabla 14

Limites de Aplicabilidad del Documento AIS 410-23

Sistema de Muros de Carga		**R**	**Zonas de Amenaza Sísmica**					
			Alta		**Intermedia**		**Baja**	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	**Sistema resistencia para cargas verticales**		**Uso permitido**	**Altura máxima**	**Uso permitido**	**Altura máxima**	**Uso permitido**	**Altura máxima**
Muros de mampostería no reforzada (MNR), con algunos muros confinados y/o intervenidos con revoques con malla electrosoldada	El mismo	1	Grupo I	2 pisos máximo	Grupo I	2 pisos máximo	Grupo I	2 pisos máximo
Muros de mampostería confinada (MC)	El mismo	2	Grupo I	2 pisos máximo	Grupo I	3 pisos máximo	Grupo I	3 pisos máximo

Nota. Tomado de la tabla 1.2.2-1 de la AIS 410-23.

De acuerdo a la tabla 14, la aplicabilidad de la AIS 410-23, en los diferentes niveles de amenaza sísmica de Colombia, solo aplica para edificación del Grupo I de Importancia, es decir, edificaciones de uso residencial, en donde se aceptan excepciones cuando se presenta un uso comercial en un piso, pero el resto de pisos de la edificación es de uso residencial. Con respecto a las variables de la tabla 14, el valor de R, significa coeficiente de capacidad de disipación de energía de la estructura existente en donde cuando el valor es (R = 1), significa que el sistema es frágil es decir mampostería no reforzada, y cuando el valor es (R = 2), significa que el sistema esta conformado por mampostería confinada. En caso de tener una edificación con una parte en mampostería no reforzada y otra parte en mampostería confinada, se asume el valor de R = 2.

De acuerdo al Literal 7.9 de la AIS 410-23, cuando el alcance de las intervenciones para la reparación o reforzamiento de una edificación, no permite ejecutar la totalidad de un reforzamiento, el documento AIS 410-23 en este caso propone definir las actividades priorizadas que aseguren una mejora estructural y reducción de la vulnerabilidad con respecto a la situación existente de la edificación. En este orden de ideas, se establecen actividades priorizadas conforme a los criterios establecidos en la tabla 15.

Tabla 15

Priorización de condiciones a subsanar

Prioridad	Condición por subsanar	Ejemplos de obras por desarrollar
1	**Condición estructural** Elementos muy dañados o desgastados pueden causar deficiencias que llevan al colapso como: • Muros significativamente agrietados que conllevan al mal desempeño de la cimentación. • Muros muy deteriorados. • Elementos de concreto reforzado con grietas en el concreto, aceros expuestos o corroído.	• Demolición y reconstrucción de muros dañados o en malas condiciones. • Demolición y reconstrucción de elementos de concreto reforzado dañados o en malas condiciones. • Resane y/o reparación de elementos de concreto reforzado en malas condiciones. • En sistemas de techo liviano, sustitución de los elementos en malas condiciones (correas, tejas, anclajes, etc.).

Prioridad	Condición por subsanar	Ejemplos de obras por desarrollar
2	**Configuración** Configuraciones deficientes pueden generar el colapso parcial o total de la vivienda. Típicamente incluyen: • Fachadas muy abiertas, falta de muros perimetrales (muros compartidos), que pueden generar excentricidades torsionales. • Muros para culata sin amarre.	• Relleno o reconfiguración de aberturas de fachadas para aumentar el área sólida de muro. • Construcción de muros perimetrales independientes (no compartidos) con una longitud mínima igual a la mitad del lado de la vivienda. • Construcción de muros perpendiculares a las culatas para ofrecer soporte fuera del plano. • Demolición de culatas existentes y construcción de nuevas en mampostería confinada. • Generación de soporte para losas en voladizos, construyendo nuevos muros o columnas. Alternativamente, demolición y reconstrucción del muro de fachada en línea con el eje del muro en los pisos inferiores. • Refuerzo de escaleras existentes / construcción de nuevas escaleras en concreto reforzado. • Construcción de juntas sísmicas para generación de configuraciones regulares en planta. • Demolición de uno o más pisos.
3	**Transferencia de cargas** La falta de una transferencia de carga entre los elementos estructurales puede generar el colapso parcial o total de la vivienda. Se pueden clasificar en: Deficiencias fuera del plano de los muros, típicamente incluyen: • Falta de muros transversales (longitudes > 4000 mm sin muros transversales). • Muros esbeltos. • Falta de vigas de amarre. Deficiencias en el plano de los muros, típicamente incluyen: • Falta de conexión al diafragma (losa). • Muros compartidos (menos de 2 ejes de muros en cada dirección)	• Construcción de nuevos muros para respetar la distancia máxima entre muros paralelos y facilitar la estabilidad fuera del plano. • Aumentar el espesor de los muros con revoques (pañetes) con o sin malla electrosoldada. • Completar los muros que sean de altura incompleta y asegurar el correcto amarre de ellos a una viga superior en concreto reforzado. • Construcción de columnetas en concreto reforzado en todos los ejes sueltos de muro. • Construcción de nuevas vigas en sistemas de losas prefabricadas (incluye sistemas de losa con bloquelón y perfiles metálicos). • Refuerzo de las estructuras de contención integradas a las viviendas (muros de contención). • Confinamiento de los parapetos/muros cortos. • Sustitución de las cimentaciones con mal desempeño o construcción de nueva cimentación, en caso de ser necesario.

Prioridad	Condición por subsanar	Ejemplos de obras por desarrollar
4	**Resistencia/Ductilidad** Ayuda a la vivienda a asumir más resistencia lateral durante eventos de intensidad creciente. Deficiencias de la resistencia, típicamente incluyen: • Mampostería de baja resistencia (materiales). • Falta de muros. Deficiencias de la ductilidad típicamente incluyen: • Muros sin confinar. • Aberturas en muros sin confinar.	• Construcción de revoques de muros con o sin malla electrosoldada. • Conversión del sistema estructural a mampostería confinada. • Confinamiento de las aberturas en los muros. • Construcción de nuevos muros.

Nota. Tomado de la tabla 7.9-1 de la AIS 410-23.

De acuerdo a los lineamientos de la AIS410-23, además de priorizar las condiciones por subsanar como lo muestra la tabla15, también cuenta con el apéndice A-1que relaciona una lista de chequeo de verificación, y con el apéndice A-2 el cual muestra los ejemplos de detalles constructivos de los sistemas de reforzamiento propuestos para viviendas en mampostería, los cuales se detallan en el desarrollo del segundo objetivo de la presente investigación. Ver Literal 4.2 del presente documento.

Según los criterios y parámetros para el reforzamiento de viviendas en mampostería establecidos por la ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA mediante el documento AIS 410-23, a pesar de que no es una norma reglamentaría como la NSR-10, es un documento que tiene fuerza de ley por estar debidamente requerido por el Decreto Numero 1401 del 25 de agosto de 2023.

4.2 Procesos de seguimiento y control técnico aplicables al reforzamiento de edificaciones de baja altura mediante la revisión de métodos, materiales y criterios de aplicación, para establecer parámetros técnicos que garanticen la seguridad y calidad de las intervenciones

Para establecer procesos de seguimiento y control en sistemas de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, es importante establecer los principales métodos de reforzamiento que, por ser prácticos, económicos y eficientes, se pueden consolidar como los métodos convencionales de reforzamiento siempre y cuando cuenten con respaldo normativo.

En una edificación existente, el reforzamiento estructural se requiere cuando existe una vulnerabilidad estructural o cuando se desea realizar una ampliación, en ambos casos se debe aplicar un método de reforzamiento que garantice la seguridad de la estructura. En este caso se hace mas relevante considerar aquellos métodos de reforzamiento orientados a brindar soluciones a edificaciones de origen informal, dado que son el tipo de edificaciones que más frecuentemente presentan necesidades de reforzamiento debido a su deficiencia o falta de cumplimiento de criterios normativos y de seguridad estructural y sísmica. En este orden de ideas, se considera como base para las diferentes técnicas de reforzamiento de edificaciones existente, el uso de materiales convencionales de los cuales se cuenta con normatividad legal vigente, como es el caso del concreto reforzado, el cual su diseño esta debidamente sustentado de acuerdo a los lineamientos de la norma NSR-10, al igual que la incorporación de elementos metálicos. A continuación, se relacionan los principales métodos y técnicas de reforzamiento para edificaciones de baja altura.

4.2.1 Reforzamiento con pañete reforzado en muros de mampostería

En una edificación de baja altura, los muros en mampostería se utilizan para conformar muros perimetrales, muros divisorios y muros de contención. Con respecto a los muros de contención, pueden estar constituidos por muros en mampostería reforzada y no reforzada, o confinada, que se construyen como parte de la edificación para conformar un sótano o para conformar un talud existente. De Acuerdo al Anexo A-2 del documento AIS 410-23, las limitaciones para el reforzamiento de muros se clasifican en muros que no tienen ninguna continuidad con la estructura pero que hacen parte de ella, como los muros perimetrales en patios, a diferencia de los muros que contienen un volumen de suelo y están amarrados a una losa de entrepiso.

Reforzamiento de Muros de contención. Los tipos de muros integrados a una edificación de baja altura, básicamente se conforman por muros en mampostería confinada o no confinada utilizando mampuestos en arcilla o concreto que en muchos casos cuando colindan con taludes, contienen un volumen de tierra o solo sirven de recubrimiento para un talud conformado que no transmite cargas horizontales directamente al muro. En este caso de acuerdo a la AIS 410-23, existen restricciones para considerar viable el reforzamiento de este tipo de muros, y recomienda la técnica de reforzamiento mediante mortero reforzado de 3cm de espesor usando malla electrosoldada para muros en mampostería con longitudes de muro no mayores a 4m y para una altura no mayor de 1.8m. Para aplicar el método del revoque o pañete reforzado en muros de mampostería que contienen un volumen de suelo., se recomienda el uso de la siguiente tabla 16, en donde se puede observar los rangos del refuerzo de malla electrosoldada según la longitud del muro y altura del suelo contenido, de acuerdo a los parámetros establecidos por el documento AIS 410-23.

Tabla 16

Parámetros de malla electrosoldada para pañete reforzado en muros en mampostería

Altura máxima suelo (m)			1.8			
Espesor revoque (m)			0.03			
H suelo (m)	**L≤1.5**	**1.5<L≤2.0**	**2.0<L≤2.5**	**2.5<L≤3.0**	**3.0<L≤3.5**	**3.5<L≤4.0**
BLOQUE DE ARCILLA - ESPESOR 0.15 m						
≤1.2	4mm@200	4mm@150	4mm@150	2x4mm@250	5mm@150	N.A
1.2<H≤1.4	4mm@150	4mm@150	5mm@150	5mm@200	N.A	N.A
1.4<H≤1.5	2x4mm@250	2x4mm@250	5mm@150	N.A	N.A	N.A
1.5<H≤1.6	5mm@150	5mm@150	N.A	N.A	N.A	N.A
BLOQUE DE ARCILLA - ESPESOR 0.20 m						
≤1.8			4mm@150	4mm@150	2x4mm@200	5mm@150
1.3<H≤1.6	4mm@150	4mm@150	2x4mm@200	5mm@150	N.A	N.A
1.6<H≤1.7	2x4mm@200	2x4mm@200	2x4mm@200	5mm@150	N.A	N.A
1.7<H≤1.8	5mm@150	5mm@150	5mm@150	N.A	N.A	N.A
BLOQUE DE CONCRETO - ESPESOR 0.15 m						
≤1.8	4mm@200	4mm@150	4mm@150	2x4mm@200	5mm@150	5mm@150
1.2<H≤1.4	4mm@150	4mm@150	2x4mm@200	5mm@150	5mm@150	N.A
1.4<H≤1.5	2x4mm@200	2x4mm@200	5mm@150	5mm@150	N.A	N.A
1.5<H≤1.7	5mm@150	5mm@150	5mm@150	N.A	N.A	N.A

Nota: El valor de L es igual a la longitud libre máxima medida entre muros perpendiculares al muro de contención. Fuente: Tomado del documento AIS 410-23 Apéndice A-2.

De acuerdo a la tabla 16, es importante mencionar que estos valores solo hacen referencia a una solución constructiva, propuestas para realizar obras de mitigación en elementos estructurales existentes. En este orden de ideas, cuando el muro no tiene una continuidad o una losa de concreto en la parte superior del muro o una viga de amarre de concreto, es necesario fundir una viga de amarre que ayude a confinar el muro. Para el caso de muros que superen una

altura de 1.8m, se permiten alturas máximas hasta de 2.4m siempre y cuando dentro del pañete reforzado se incluyan columnetas de confinamiento, en donde el máximo numero a utilizar de columnetas es de 2 para las longitudes máximas de muros que es de 4m. En la tabla 17, se pueden observar los rangos de valores establecidos por la AIS 410-23 para muros con revoque reforzado implementando columnetas de confinamiento.

Tabla 17

Parámetros de pañete reforzado con columnetas para muros en mampostería

Altura máxima suelo (m)				2.4		
Espesor revoque (m)				0.03		
Longitud de Muro L	**N° de Columnas**	**Ec (mm)**	**Bc (mm)**	**Ast**	**Asc**	**Malla Electrosoldada**
2.5m < L ≤ 4.0m	2	100	400	4 #3	4 #3	Malla 5mm @ 150mm y barras en "L" @ 450mm
2.5m < L ≤ 2.5m	2	100	300	3 #3	3 #3	Malla 5mm @ 150mm y barras en "L" @ 450mm
2.0m < L ≤ 2.5m	1	100	400	4 #3	4 #3	Malla 5mm @ 150mm y barras en "L" @ 450mm
1.0m < L ≤ 2.0m	1	100	300	3 #3	3 #3	Malla 5mm @ 150mm y barras en "L" @ 450mm

Nota. Fuente: Tomado del documento AIS 410-23 Apéndice A-2.

De acuerdo a la tabla 17, las variables Ec, Bc, Ast y Asc significan:

Ec: Espesor de columneta.

Bc: Ancho de columneta.

Ast: Acero a tensión de columneta.

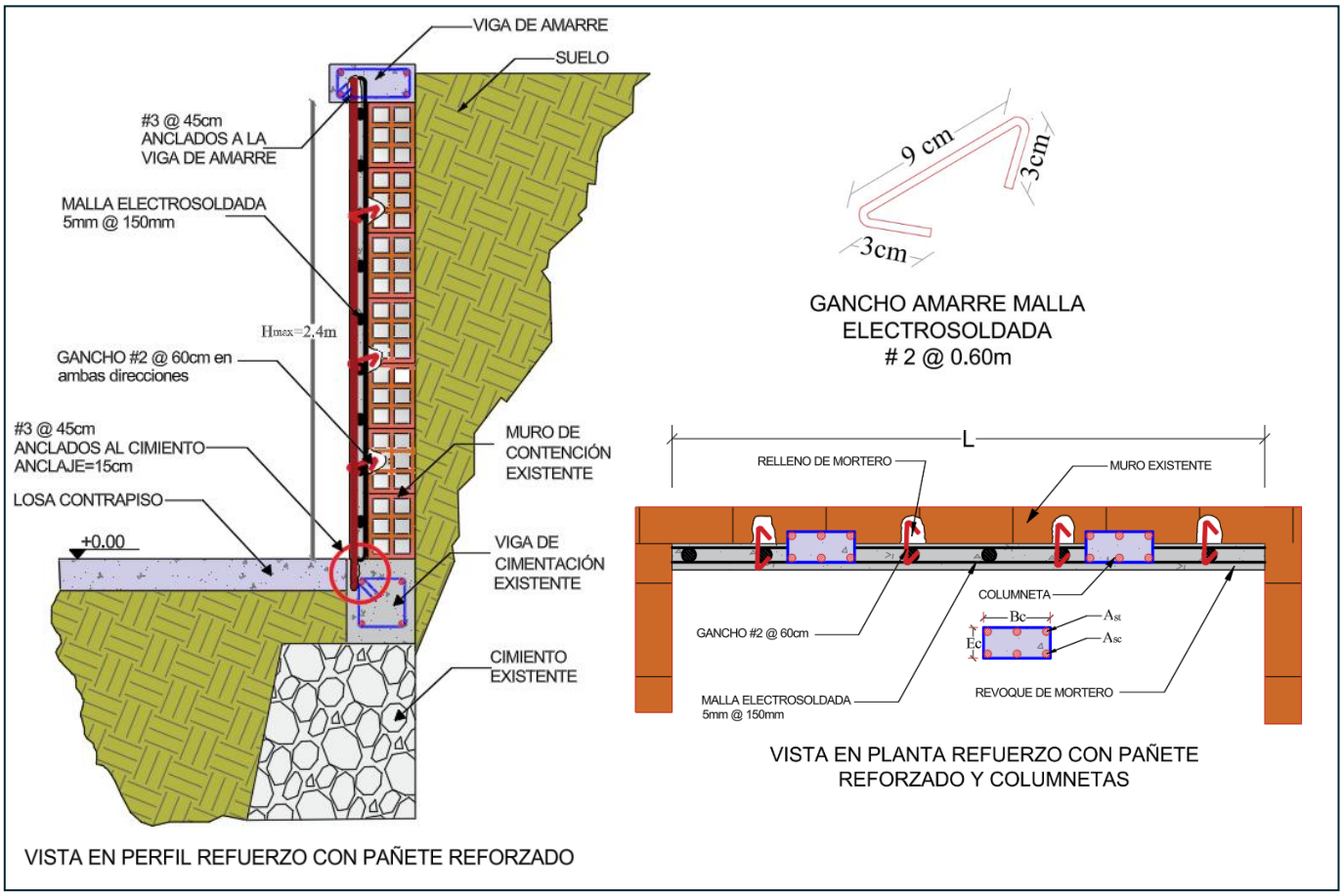
Asc: Acero a compresión de columneta.

Con relación al espaciamiento o la ubicación de las columnetas dentro de un muro a reforzar, cuando el número mínimo de columnetas es igual a 2, estas se deben posicionar de

manera simétrica a lo largo de la longitud libre del muro. Por otra parte, cuando el numero de columnetas es igual a 1, esta se debe posicionar a L/2. En la figura 10, se muestra el esquema de esta técnica.

Figura 10

Esquema de reforzamiento muro con pañete reforzado y columnetas



Nota. Tomado de la AIS 410-23 Apéndice A-2, adaptado y modificado por Autores.

De acuerdo a la figura 10, los parámetros de escogencia de la malla electrosoldada y acero longitudinal para columnetas se determina mediante los valores establecidos en la tabla 16 y tabla 17, por otra parte, cuando no se cuente con una viga de amarre, el Documento AIS 410-23, recomienda las siguientes especificaciones mínimas para vigas de amarre:

-Acho de viga mínima ≥ espesor del muro, área de la sección mínima ≥ 20.000 mm2

-Ser de concreto reforzado con una resistencia mínima de f'c = 17.5 MPa.

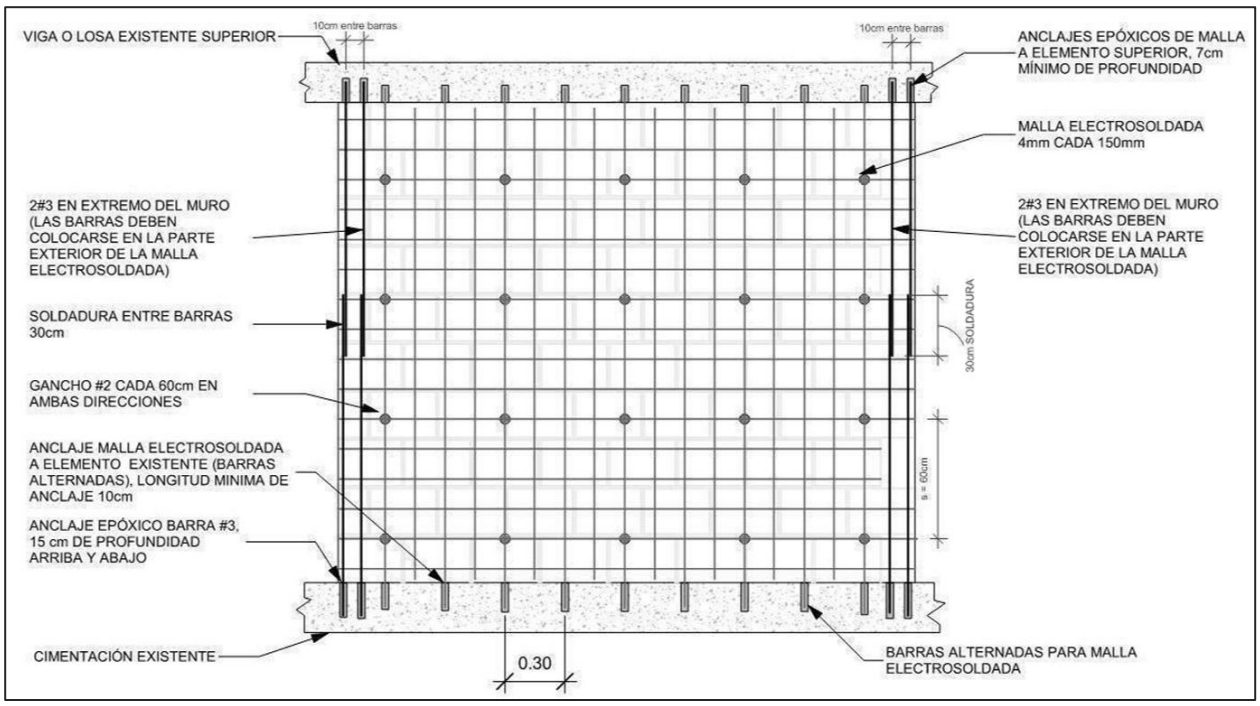
-Refuerzo longitudinal mínimo de 4 barras # 3 (3/8") con resistencia mínima fy=420MPa

-Estribos en barra No.2 mm espaciados a máximo 150 mm.

Cuando el reforzamiento a llevar a cabo corresponde a un muro perimetral o un muro divisorio que no contiene volúmenes de tierra, su configuración para la misma técnica del pañete reforzado, al igual que sus limitaciones se puede apreciar en el esquema o vista frontal en la figura 11.

Figura 11

Vista frontal técnica de pañete reforzado en muro de mampostería



Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

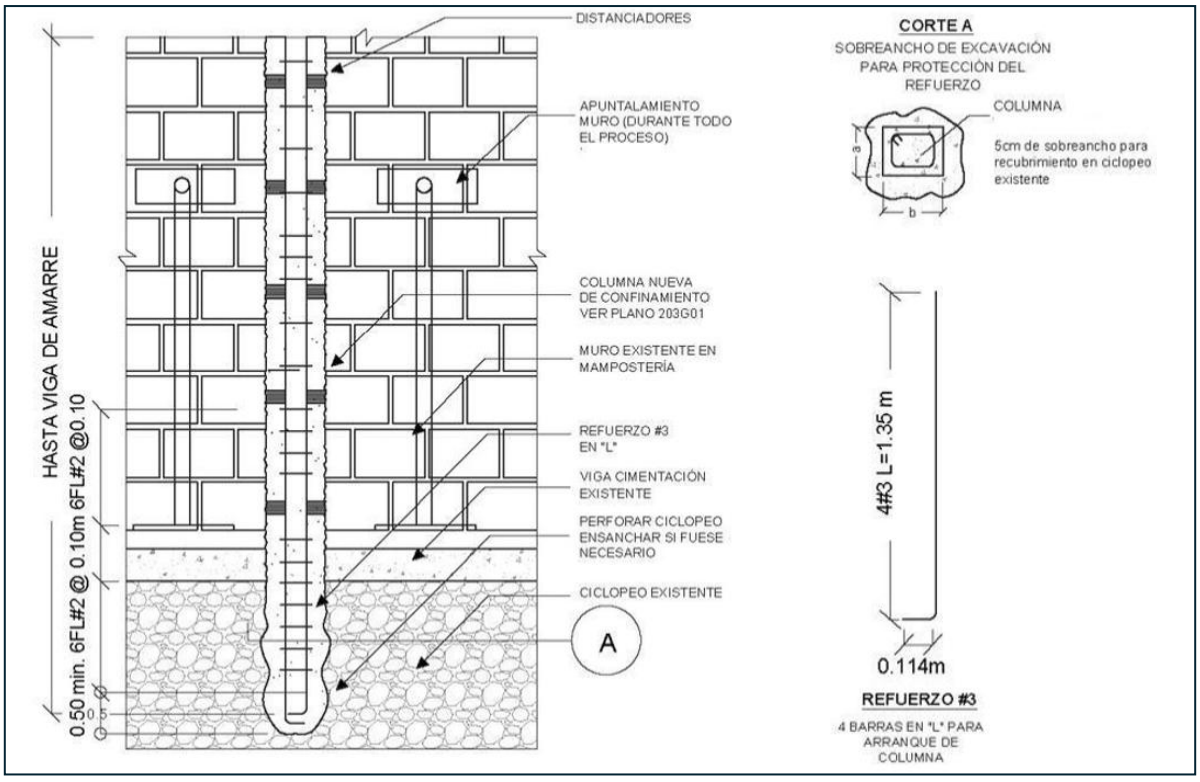
Para el caso de las columnetas, en el literal 4.2.2, se puede apreciar el procedimiento constructivo y los parámetros y criterios constructivos para la construcción de columnas o columnetas nuevas de confinamiento para muros de mampostería.

4.2.2 Construcción de columnas nuevas de confinamiento en muros existentes

Cuando se determine la falta de confinamiento en muros de mampostería se pueden construir columnas de confinamiento que mejore las condiciones de capacidad y carga en muros de mampostería. En la siguiente figura 12, se puede apreciar el esquema general para la construcción de una columna o columneta nueva de confinamiento.

Figura 12

Vista columna de confinamiento nueva en muro de mampostería existente

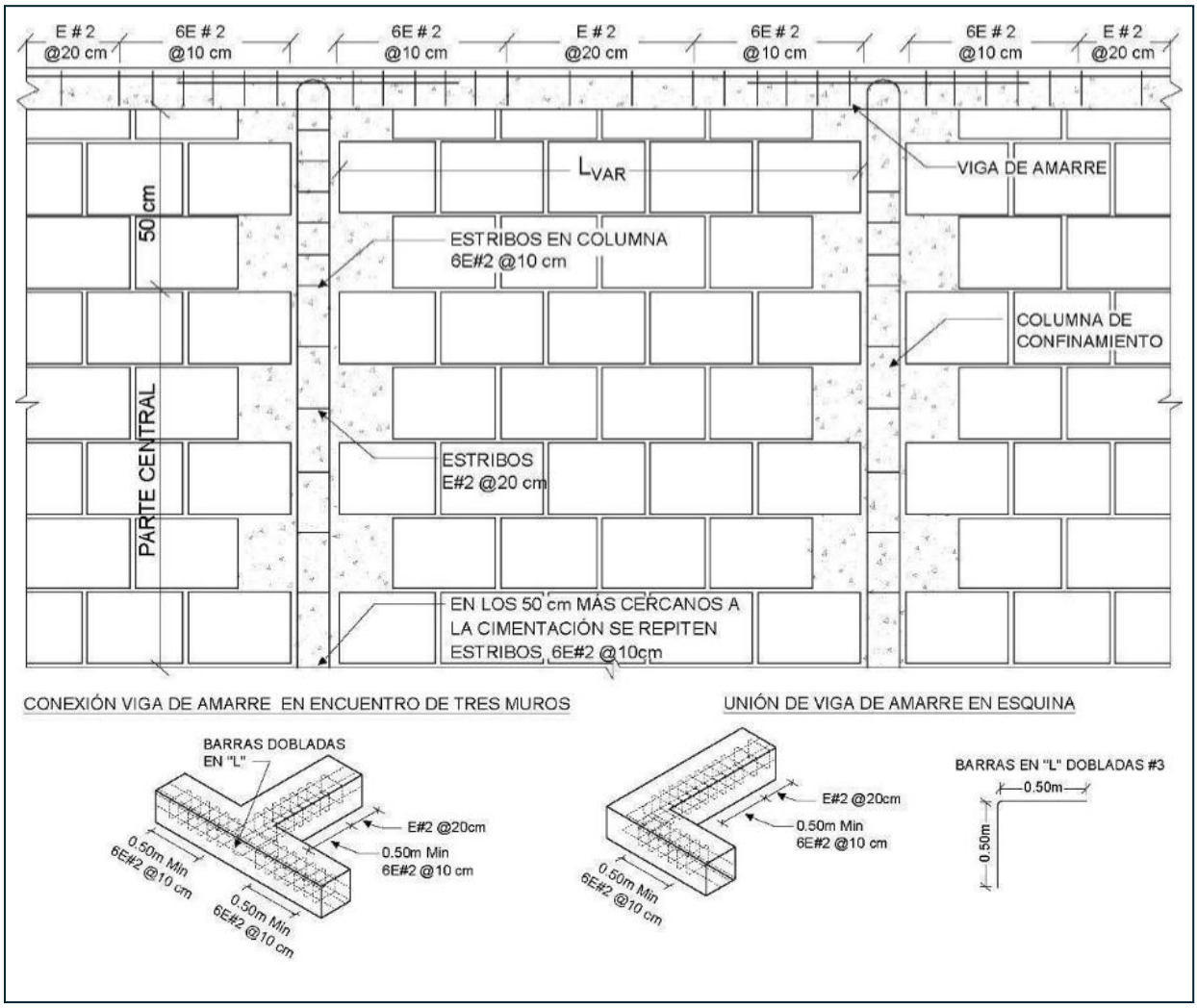


Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

De acuerdo al Literal 7.4.6 de la AIS 410-23, el refuerzo mínimo en columnas de confinamiento de ser de 4 barras #3 (3/8”) y estribos #2 a cada 150mm. Por otra parte, cuando se construyen muros nuevos que se incorporan a una edificación existente, se recomienda tener en cuenta los parámetros establecidos en el siguiente esquema. Ver figura 13.

Figura 13

Esquema muro nuevo de mampostería confinada



Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

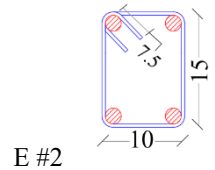
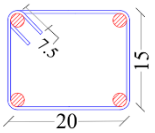
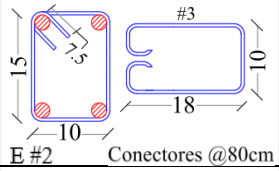
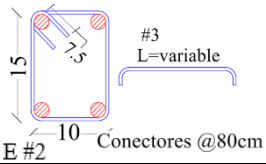
Con respecto a las vigas de cimentación, a continuación, en el siguiente literal 4.2.3, se relacionan las recomendaciones y parámetros mínimos para vigas de cimentación

4.2.3 Construcción de vigas de cimentación en muros existentes

Con respecto al uso de vigas de cimentación en edificaciones existentes, se presentan casos en donde los muros de mampostería son construidos sobre la base o entrepiso de concreto, sin tener ninguna clase de reforzamiento o estabilidad en la cimentación de un muro en mampostería. En este caso, el documento AIS 410-23, propone una serie de técnicas para el reforzamiento con la construcción de viga de cimentación con las siguientes medidas y especificaciones para las dimensiones mínimas, acero de refuerzo y recubrimiento. Ver tabla 18

Tabla 18

Parámetros para vigas de cimentación

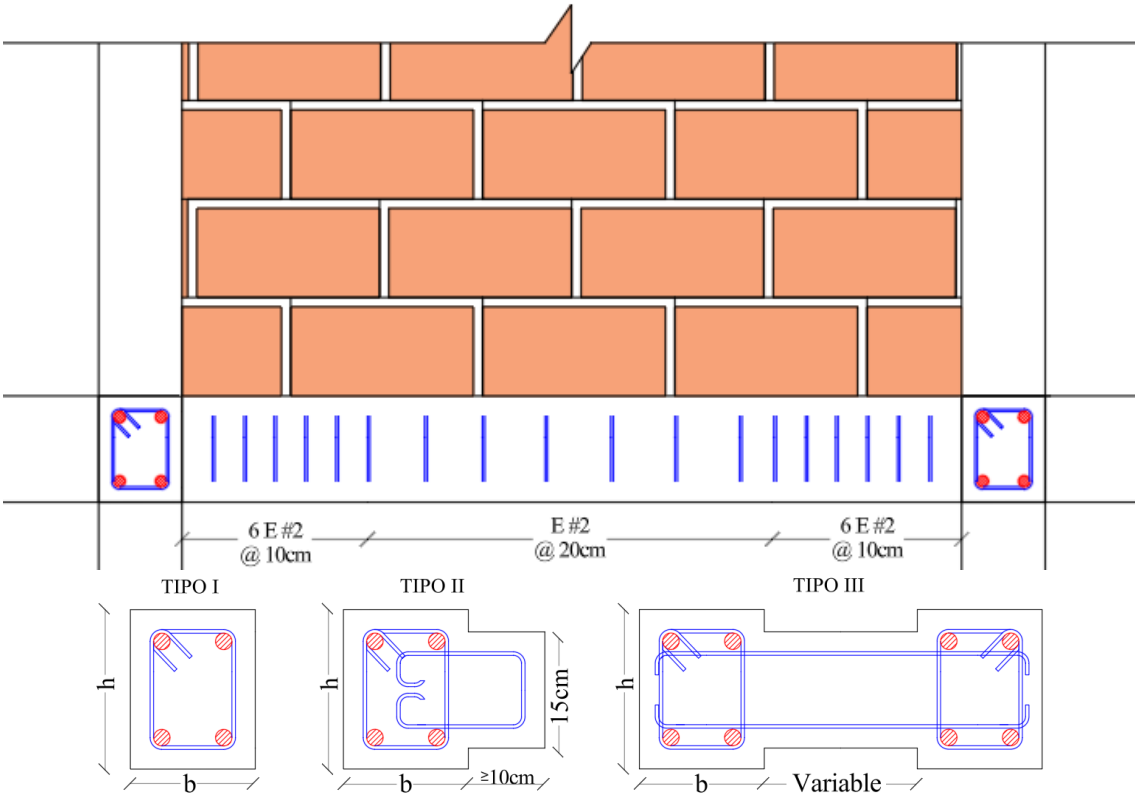
VIGAS DE CIMENTACIÓN PARA MUROS NUEVOS					
TIPO	**Sección b(m) x h(m)**	**Refuerzo Longitudinal**	**Refuerzo Transversal (cm)**	**Recubrimiento r(cm)**	**Aplicación**
I	0.20 x 0.25	4 #3	 E #2	5.0	Cimientos nuevos con o sin muros, para muros de un solo nivel, y vigas para conexión de vivienda con muros de contención
I	0.30 x 0.25	4 #4	 E #2	5.0	Cimientos nuevos para muros continuos en dos niveles y vigas sobre muros de contención.
VIGAS DE CIMENTACIÓN PARA CONFORMACIÓN DE DIAFRAGMA					
II	0.20 x 0.25	4 #3	 E #2 Conectores @80cm	5.0	Vigas para conformación de diafragmas bajo muros medianeros.
III	2 0.20 x 0.25	2 4 #3	 E #2 Conectores @80cm	5.0	Vigas para conformación de diafragmas bajo muros divisorios o centrales.

Nota. Tomado de la AIS 410-23 Apéndice A-2, adaptado y modificado por Autores.

De acuerdo a los parámetros de refuerzo de la tabla 18, con relación a la distribución de estribos y a la sección transversal de cada tipo de viga de cimentación propuesto por el documento AIS 410-23, en la siguiente figura 14 se observa su esquema.

Figura 14

Esquema de espaciamiento de flejes para viga de cimentación



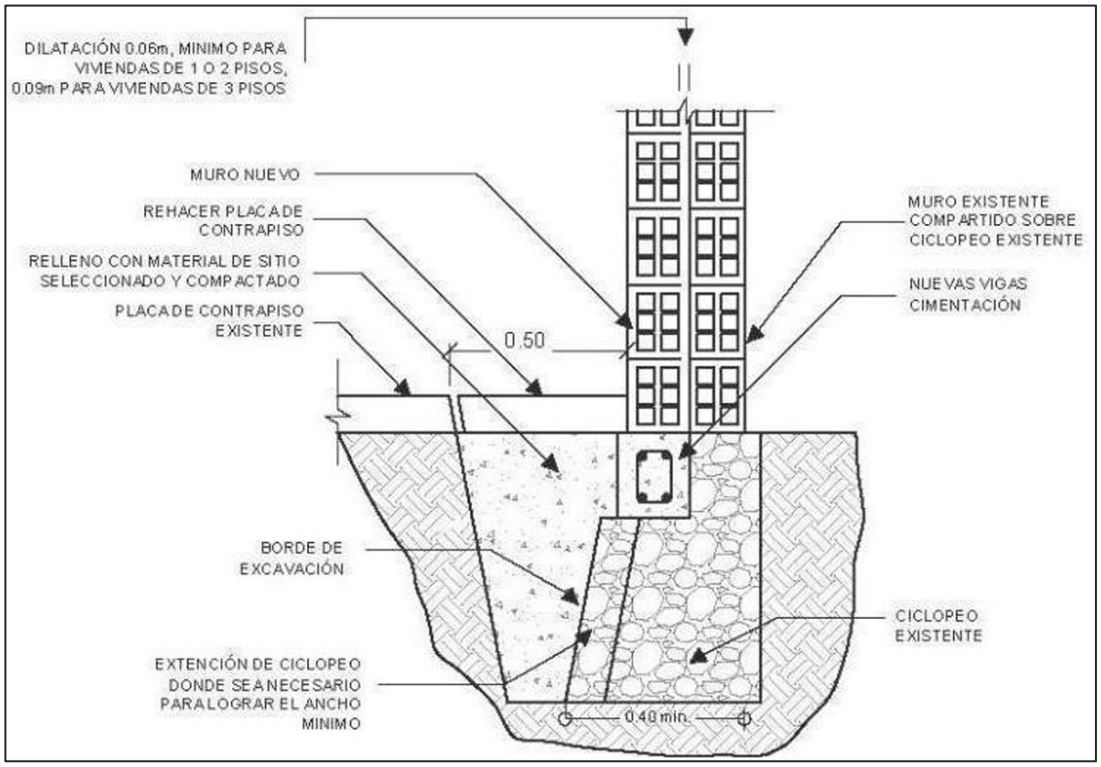
Nota. Tomado de la AIS 410-23 Apéndice A-2, adaptado y modificado por Autores.

Para entender el procedimiento constructivo o la técnica de reforzamiento cuando se requiere construir una viga de cimentación sobre un muro existente, siguiendo los parámetros de la AIS 410-23, se proponen 2 técnicas para muros perimetrales y una técnica para muro internos. Con relación a las técnicas para muros perimetrales utilizando la viga de cimentación tipo I, el método consiste en construir una viga de cimentación y posteriormente un muro en mampostería

con columnetas en caso de ser necesario para confinarlo sobre la viga nueva de cimentación, un ejemplo mas claro de este método, se puede apreciar en la siguiente figura 15.

Figura 15

Nueva viga de cimentación con muro nuevo de mampostería



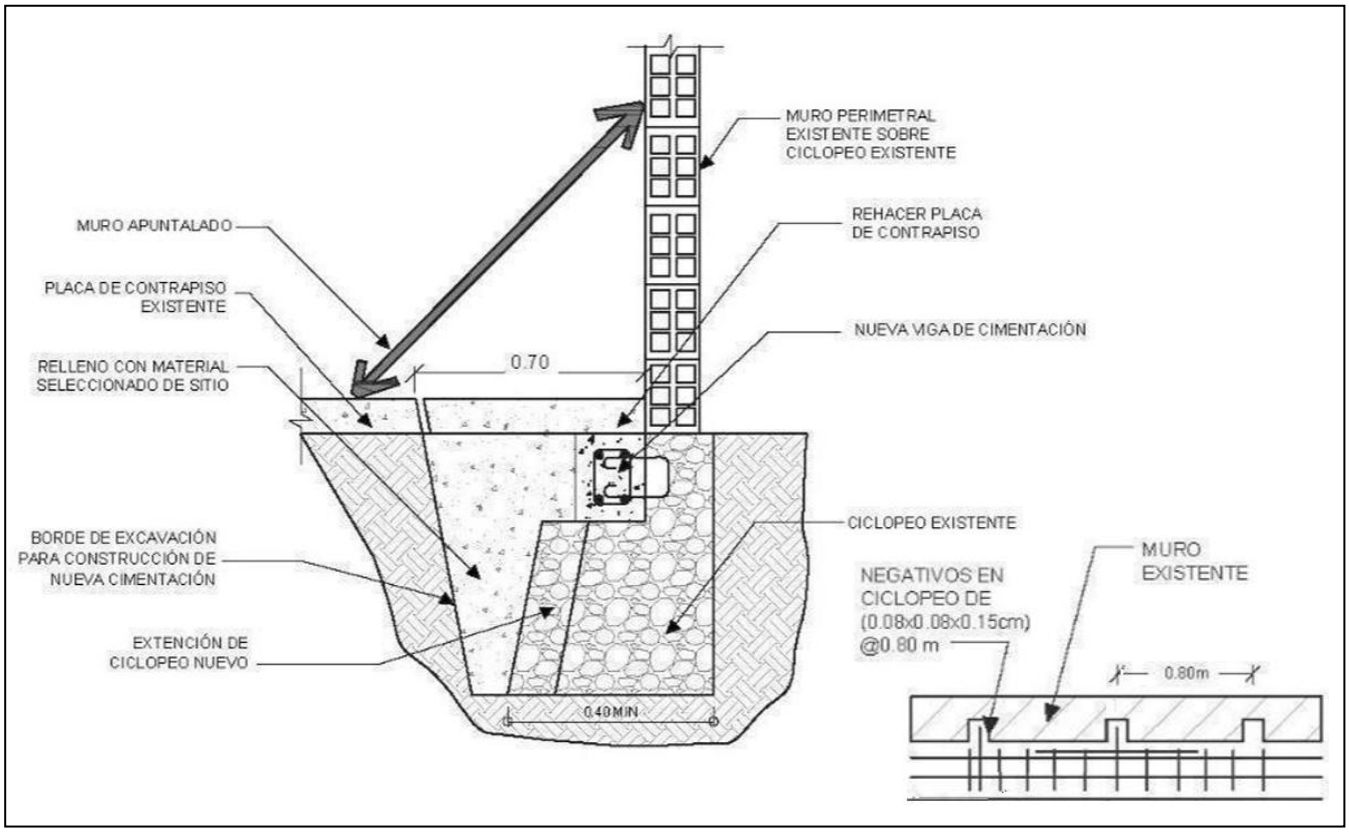
Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

De acuerdo a la figura 15, se observa el procedimiento constructivo para la construcción de un muro nuevo de mampostería como técnica o solución para evitar la vulnerabilidad sísmica en un muro existente, en este caso, esta metodología consiste en demoler parte de la cimentación en concreto ciclópeo del muro existente o en su defecto si no cuenta con una base de soporte para la viga de cimentación, se recomienda extender o fundir el concreto ciclópeo hasta donde sea necesario para lograr el ancho mínimo de la viga de cimentación nueva.

Otra de las técnicas de reforzamiento para muros perimetrales con deficiencias en su cimentación, corresponde al uso de la viga TIPO II, en donde al igual que el método anterior, se debe ampliar la cimentación existente en concreto ciclópeo para poder tener una base de soporte suficiente para la viga nueva de cimentación, la cual va anclada al concreto ciclópeo existente por medio de estribos espaciados a cada 80 cm, para este caso, se debe demoler de forma controlada el espacio suficiente para los estribos y el recubrimiento de los mismos que va a quedar ubicados por debajo del muro existente, lo que ayudara a brindar una estabilidad al muro de mampostería existente. Ver figura 16.

Figura 16

Esquema de implementación viga de Cimentación TIPO II

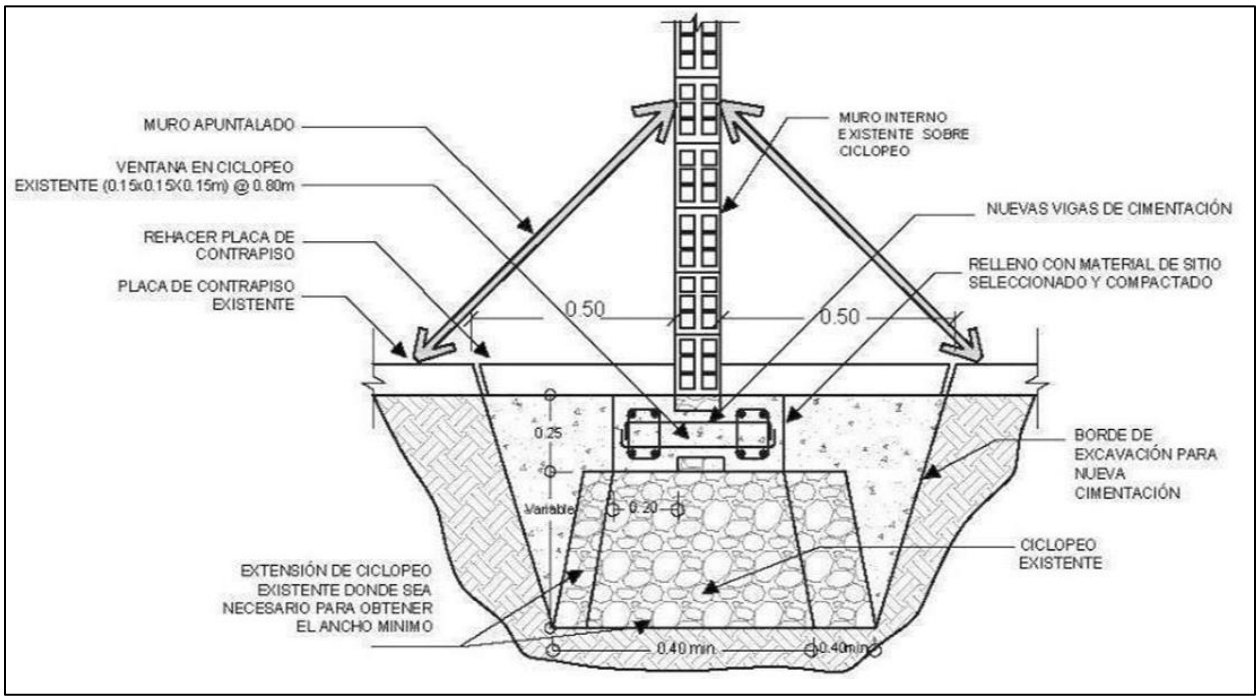


Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

Para el caso de la viga de cimentación TIPO III, se utiliza para muros divisorios que no tienen una estabilidad en su cimentación, y su forma de aplicación o ejemplo práctico, se puede apreciar en la siguiente figura 17.

Figura 17

Esquema de implementación viga de Cimentación TIPO III



Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

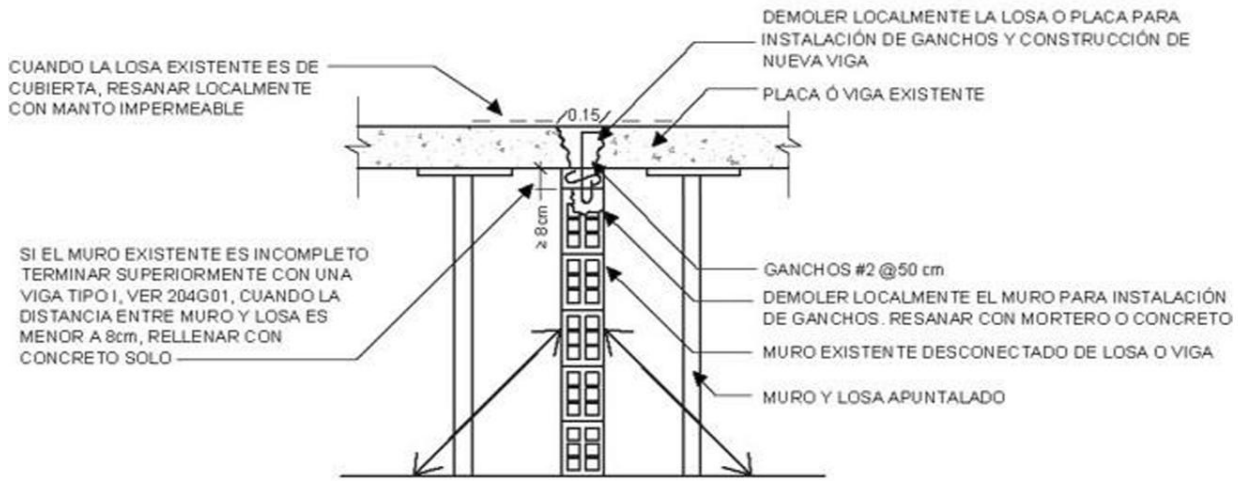
De acuerdo a la figura 17, cuando se tienen muros internos dentro de una edificación que carezcan de una correcta cimentación, se puede utilizar la doble viga de cimentación en ambos costados del muro, conectada por medio de una ventana en el concreto ciclópeo existente a cada 80cm, el cual dichas ventanas se deben demoler de forma controlada en un espesor y a una altura de 15cm, en donde se introducen los ganchos que va de viga a viga y ayudan a dar estabilidad al sistema de muro de mampostería.

4.2.4 Conexión de muro nuevo a losa existente

Cuando se hacen modificaciones en una edificación existente, que conllevan a incorporar un muro divisorio en mampostería, y dicha edificación es de mas de un nivel, y su sistema de losa de entrepiso es de placa en concreto maciza, en este caso siguiendo los parámetros y criterios de la AIS 410-23, se recomienda anclarlo al sistema de placa existente para que ayude o contribuya a mejorar la rigidez del diafragma (losa de entrepiso), lo que traduce a mejorar las condiciones de vulnerabilidad de la estructura. Por consiguiente, en la figura 18, se puede apreciar el esquema constructivo para el empalme o anclaje de un muro en mampostería con una losa maciza de concreto.

Figura 18

Conexión de muro nuevo con losa maciza existente



Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

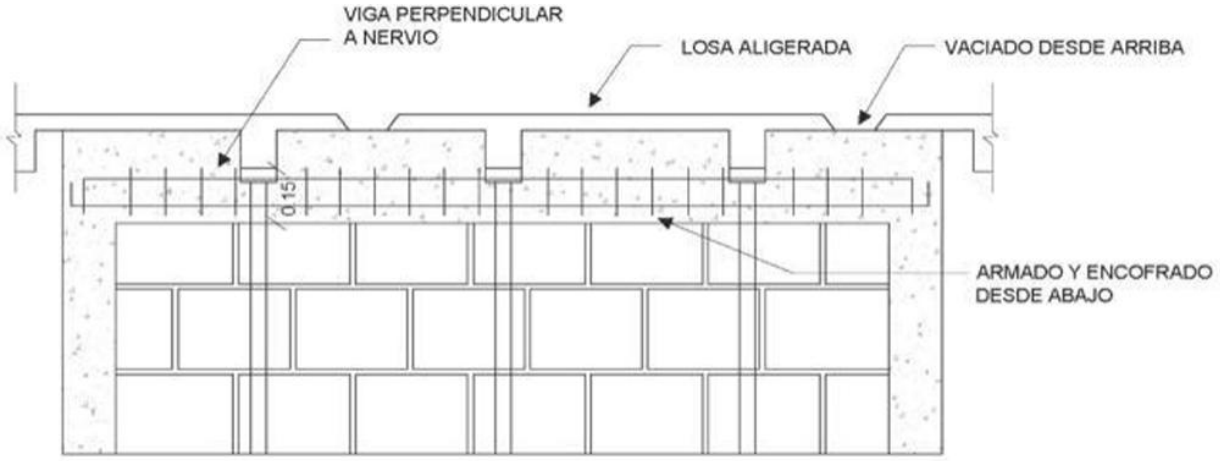
De acuerdo a las recomendaciones de la AIS 410-23 que se muestran en la figura 18, con respecto al remate del muro, se recomienda construir una vigueta de confinamiento, pero si la

distancia libre para la vigueta es menor a 8cm, se permite rellenar con concreto solo, en ambos casos se deben hacer los anclajes correspondientes a la losa de entrepiso para mejorar la rigidez de la losa. El procedimiento para la realización de anclajes consiste en hacer demoliciones localizadas en dimensiones de 15cm de diámetro a cada 50cm, en donde se introducen ganchos de anclaje #2 de acuerdo a la figura 18, los cuales se funden en conjunto con la viga de amarre o relleno de concreto.

Cuando la losa de entrepiso existente, es una losa aligerada en una dirección (típico de edificaciones de baja altura), el tratamiento para un muro nuevo de mampostería anclado a la losa, varía según el sentido del muro, pues cuando el muro en mampostería se construye perpendicular al sentido de las viguetas, el sistema constructivo requiere obligatoriamente la construcción de una viga de amarre, en donde el acero de refuerzo longitudinal de la viga de amarre debe quedar por debajo de las viguetas, con una altura o peralte de viga mínimo de 15cm, ya que esta viga pasa a ser una viga carguera para las viguetas. Ver Figura 19.

Figura 19

Conexión de muro nuevo perpendicular a viguetas de losa aligerada existente



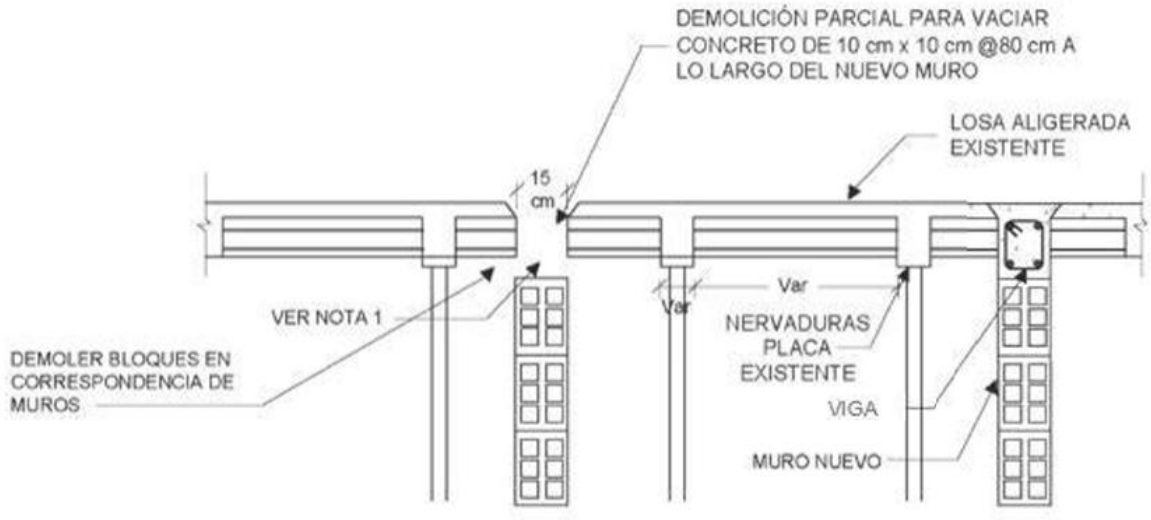
Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

Con respecto a la figura 19, cuando el muro se encuentra perpendicular a la losa aligerada, en este caso si el aligerante de la losa es algún bloquelon ó bloque de concreto o cerámico, se debe demoler el aligerante al ancho de la viga, puesto que, el concreto de la viga de amarre del muro nuevo debe quedar totalmente en contacto con el concreto de la loseta superior, lo que ayuda a dar un mayor confinamiento a las viguetas en este punto. Con respecto al procedimiento constructivo para el vaciado del concreto en la viga de amarre, se debe realizar en la parte superior de la losa, lo que hace necesario realizar demoliciones localizadas para poder realizar la correcta fundida de la viga de amarre.

Cuando la construcción del muro es paralela a las viguetas de la losa aligerada existente, se pueden presentar dos casos, el primero cuando el muro se encuentra en la zona del aligerante, y es necesario la construcción de una viga de amarre, la cual se debe fundir por la parte superior de la losa haciendo demoliciones parciales de 10cm de diámetro a cada 80cm. Ver figura 20.

Figura 20

Conexión de muro nuevo paralelo a viguetas de losa aligerada existente

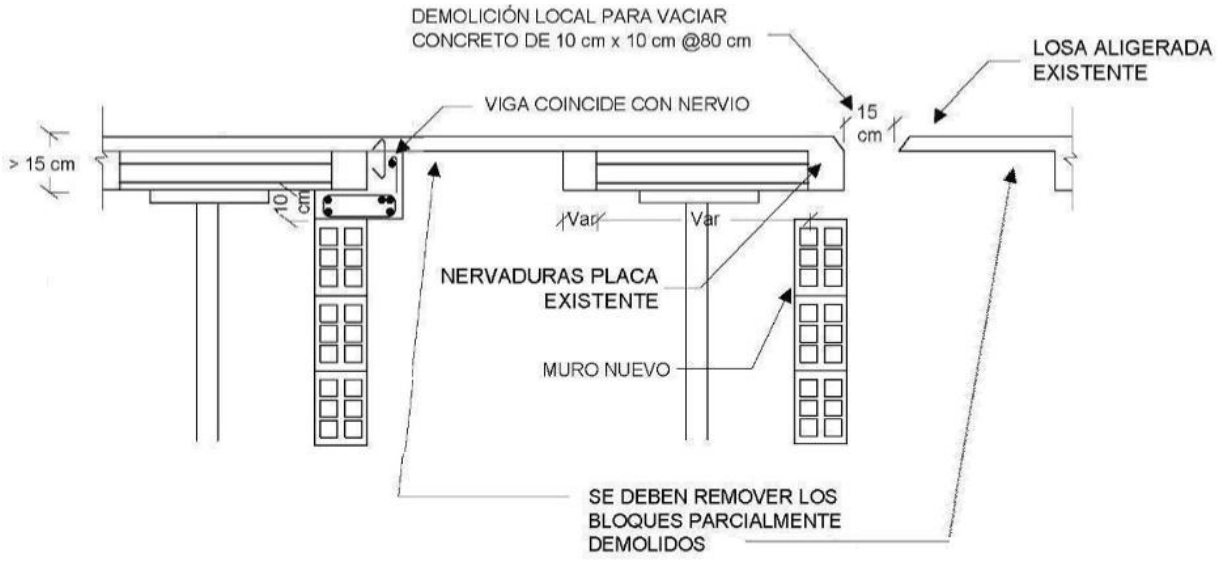


Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

De acuerdo a la figura 20, se puede observar que también se debe demoler el aligerante en el mismo ancho de la viga de amarre a lo largo de todo el muro, lo cual garantiza una correcta transmisión de cargas de la losa al muro y por ende una mejora en la rigidez del diafragma, este método no requiere de ningún gancho de anclaje. El segundo caso de muro nuevo paralelo a las viguetas de una losa aligerada existente, se presenta cuando el muro coincide con la vigueta, y su sistema constructivo a diferencia del anterior consiste en hacer una viga ancha y a realizar anclajes en varilla #2 a cada 80 cm,

Figura 21

Conexión de muro nuevo paralelo y coincidente a viguetas de losa aligerada existente



Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

De acuerdo a la figura 21, este sistema constructivo al igual que los anteriores, requiere de realizar una demolición localizada para fundir la viga de amarre, teniendo en cuenta que durante el desarrollo de las obras se deben apuntalar las viguetas.

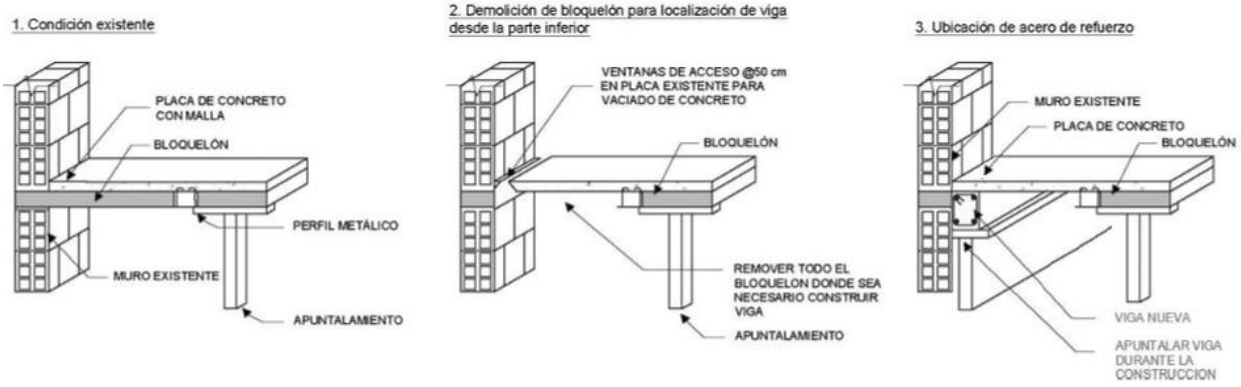
4.2.5 Refuerzo de sistema de losa con bloquelon y perfiles metálicos

El sistema de losa con bloquelon y perfiles metálicos es mas conocido como placa fácil, el cual es un sistema de losa aligerada, con un proceso constructivo sencillo que no requiere de una formaleta completa si no de puntales sobre los perfiles metálicos. Este sistema de losa es muy usual en viviendas informales y en edificaciones de baja altura, sin embargo, técnicamente este sistema de losa no ofrece las mismas características y capacidad de resistencia y conformación de diafragma que una losa de concreto maciza o aligerada con viguetas en concreto.

Cuando en una losa placa fácil, no se coloca el perfil metálico para apoyar los bloquelones sobre el muro perimetral, en este caso se hace necesario construir una viga de entrepiso que confine la losa placa fácil para prevenir su colapso frente a movimientos sísmicos. En este caso el procedimiento de refuerzo se puede apreciar en la siguiente figura 22.

Figura 22

Construcción de viga nueva para dar rigidez a losa existente



Nota. Fuente: Tomado de la AIS 410-23, Apéndice A-2.

De acuerdo a la figura 22 el procedimiento constructivo de este método consiste en demoler el bloquelón a lo largo de toda la longitud de la viga nueva, es recomendable apuntalar la losa durante la ejecución de los trabajos. Este método implica además hacer demoliciones locales en la loseta superior a cada 50cm para el correcto vaciado del concreto, esto garantiza una junta uniforme y una adherencia entre el concreto de la loseta superior con el concreto de la viga. Se recomienda que luego de fundida la viga, no quitar el apuntalamiento de la viga y de la losa luego de haber transcurrido como mínimo 20 días posterior a la fundida.

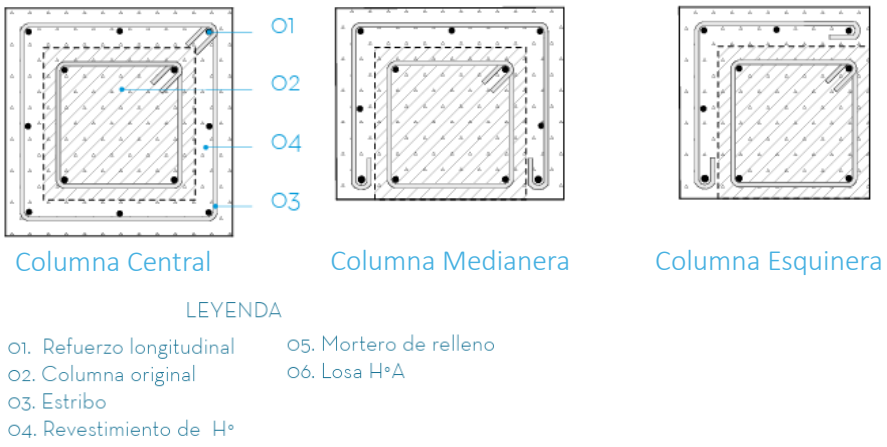
4.2.6 Recrecido de vigas y columnas

El recrecido de vigas y columnas es uno de los métodos de reforzamiento estructural más generalizados que tienen un soporte normativo fuerte porque se rigen con los mismos principios, normas y requerimientos usados para el diseño de concreto reforzado estipulado en la NSR-10. El uso de este tipo de reforzamiento se puede utilizar para edificaciones de baja altura, como también para edificaciones con sistemas estructurales en concreto reforzado.

El método de recrecido de vigas y columnas, es idóneo para sistemas estructurales de pórticos resistentes a momentos, y con relación a los a los parámetros técnicos que desde el punto de la supervisión técnica son relevantes para el seguimiento y control, para el caso de las diferentes tipologías de columna, el sistema de recrecido varía cuando la columna es central, medianera o esquinera. Ver figura 23.

Figura 23

Tipología de recrecido de concreto para columnas



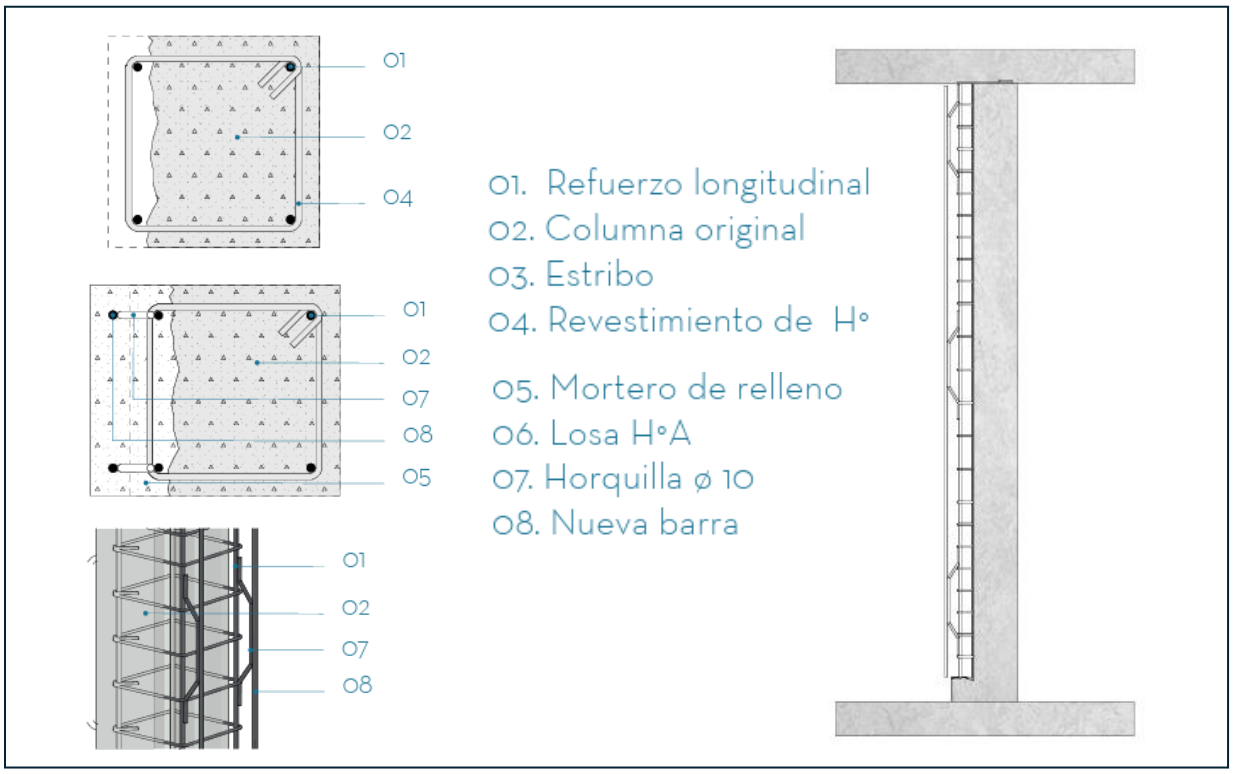
Nota. Fuente: Garzón & Landin (2017)

De acuerdo a la figura 23, el refuerzo necesario longitudinal y los estribos de confinamiento deben definirse previamente mediante el diseño estructural de reforzamiento en donde para casos prácticos de obra, se puede verificar que el acero de refuerzo coincida con lo establecido en planos estructurales, y con relación a los empalmes y longitud de desarrollo se debe verificar de acuerdo a los parámetros estudiados de la NSR-10.

Con respecto al proceso constructivo para el reforzamiento estructural de columnas mediante el método de recrecido del concreto, en la siguiente figura 24 se observa el sistema propuesto por Garzón & Landin (2017), el cual para el caso de columnas medianeras y esquineras en donde no se refuerzan todas sus caras, el método para anclar el refuerzo nuevo a la columna existente consiste en realizar una demolición parcial de la columna existente hasta poner por descubierto el acero de refuerzo para posteriormente soldar horquillas de diámetro mínimo 10mm, al acero de la columna existente, y de esta forma anclar el acero de la columna recrecida al acero existente. Ver figura 24.

Figura 24

Anclaje de acero de refuerzo para recrecido de concreto en columnas

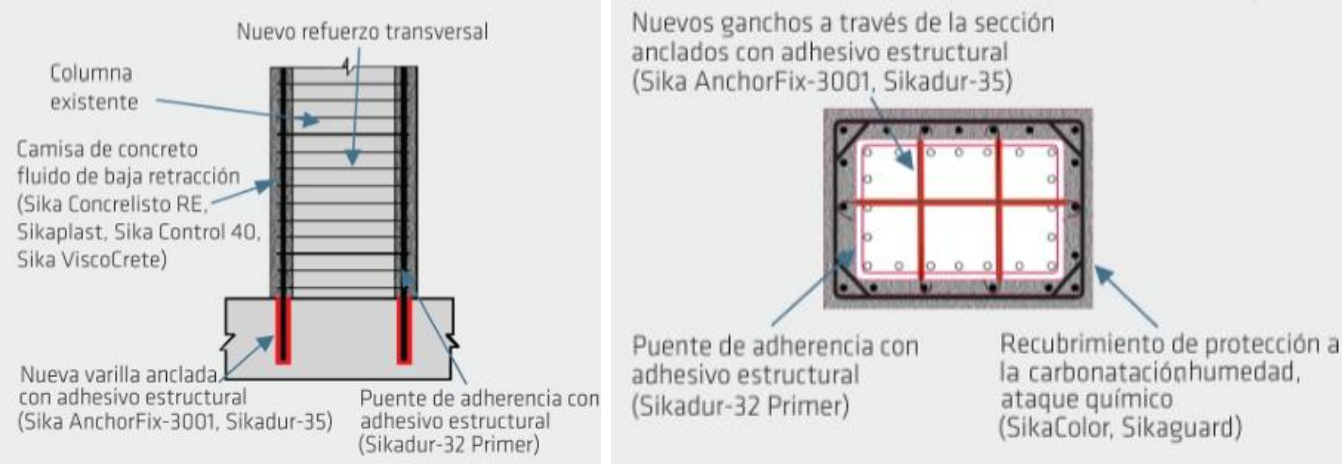


Nota. Tomado de la Investigación Garzón & Landin (2017).

De acuerdo a la figura 24, es importante resaltar que otras de las formas practicas para el reforzamiento en el recrecido del concreto corresponde al uso de ganchos pasantes alternos a lo largo de la longitud de la columna (ver figura 25 margen derecho). Con el fin de crear un puente de adherencia entre el concreto nuevo y el concreto existente, se recomienda usar un producto químico que ayuda para que esa adherencia se genere, en este caso se recomienda usar el producto SIKADUR-32, el cual es un producto compuesto por dos componentes que se deben mezclar antes de aplicar al concreto existente para luego encofrar y fundir el recrecido del elemento estructural. En la siguiente figura 25, se observan las recomendaciones de SIKA para el reforzamiento estructural de columnas por el método de recrecido.

Figura 25

Esquema de reforzamiento por recrecido para columnas según SIKA



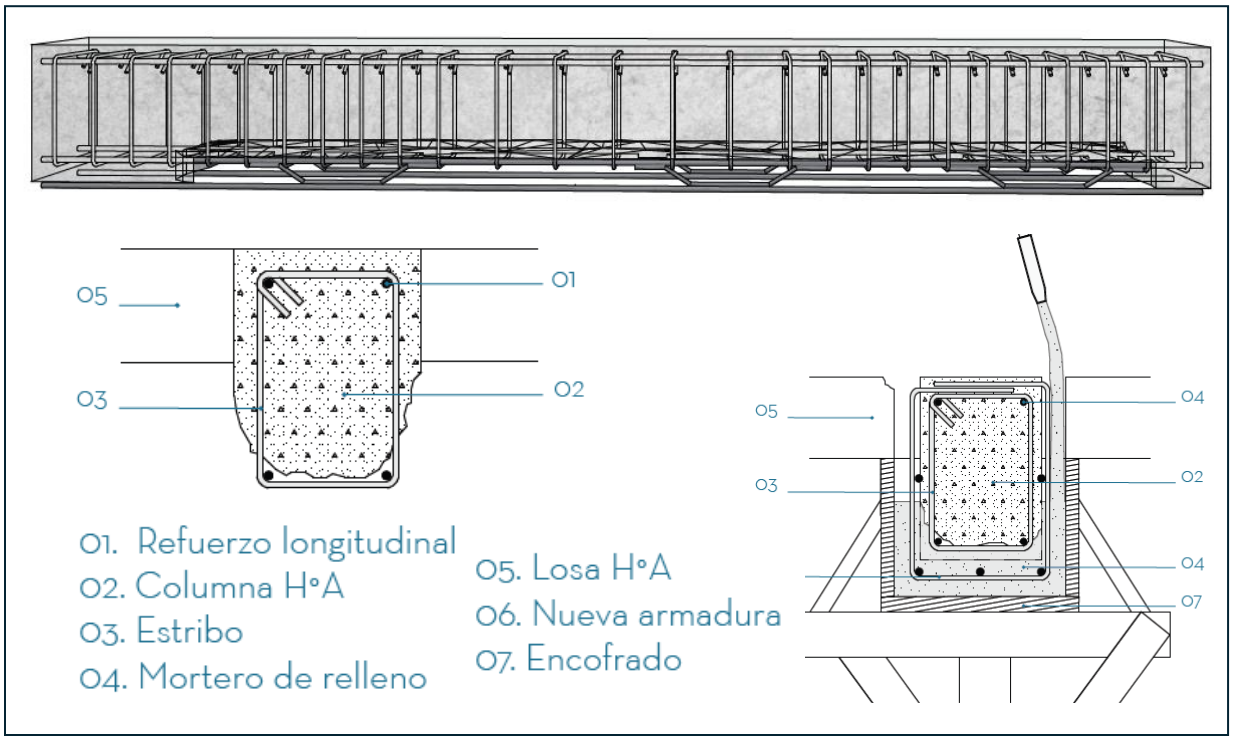
Nota: Tomado de SIKA (2017).

Con relación al sistema constructivo para el recrecido en vigas, se siguen los mismos principios que para el recrecido en columnas, en donde los controles que se aplican en este caso corresponden a la correcta configuración de aceros igual a lo establecido en planos, el uso del producto Sikadur-32 y el descubrimiento del acero existente. Durante el proceso constructivo y antes de realizar el vaciado de concreto para el recrecido de la viga, se debe verificar el aplome de las formaletas y poner especial cuidado en los puntales utilizados para la viga, en este caso se recomienda el uso de puntales metálicos, puesto que ofrecen mayor seguridad en caso de presentarse algún fallo. Ver figura 26.

Con relación al vaciado de la mezcla, si se trata de una viga de entrepiso, se debe realizar por la parte superior de la losa, para lo cual se requiere demoler localmente los puntos necesarios de la losa para el correcto vaciado de la viga en recrecido. Ver figura 26.

Figura 26

Método de reforzamiento por recrecido del concreto en vigas



Nota. Tomado de la Investigación de Garzón & Landin (2017).

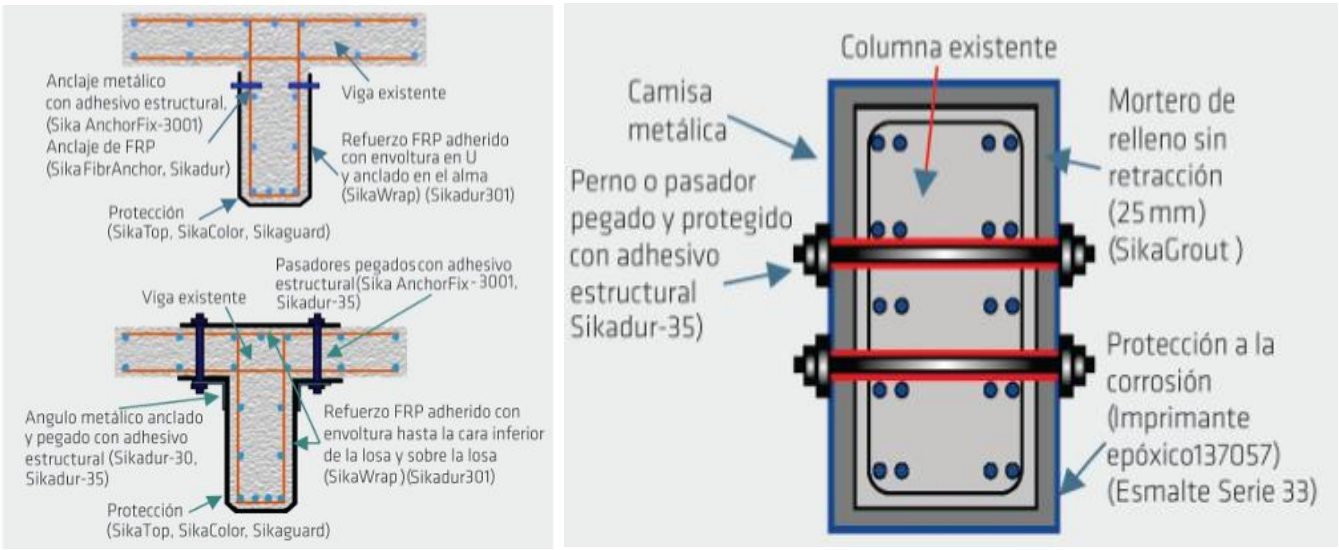
Con relación a las edificaciones de baja altura, llevar a cabo un reforzamiento por recrecido de vigas y columnas puede ser una alternativa muy costosa, considerando que la mayoría de edificaciones de baja altura se constituyen por sistemas constructivos de mampostería; en todo caso cuando se proponga el uso del reforzamiento por medio del recrecido de elementos estructurales como vigas y columnas se debe disponer de un diseño estructural pertinente que valide los diámetros de acero y dimensiones a utilizar y elementos a reforzar, ya que el alcance de una supervision técnica recae en verificar el cumplimiento de lo establecido en los estudios y diseños previos, además de llevar el control y calidad de materiales y la correcta ejecución de los procedimientos constructivos.

4.2.7 Encamisado metálico de vigas y columnas

Otra alternativa que no representa un método de reforzamiento invasivo o demorado corresponde al encamisado metálico de elementos estructurales, el cual consiste en la incorporación de una estructura metálica anclada al elemento de concreto que ayuda a rigidizar y reducir la vulnerabilidad en una edificación. En la figura 27, se puede apreciar el esquema mas practico y seguro de reforzamiento con elementos metálicos.

Figura 27

Método de reforzamiento por encamisado metálico de vigas y columnas



Nota. Imagen Izq. Refuerzo en vigas; imagen Der. Refuerzo de columna. Fuente: SIKA (2017).

Según la figura 27, existen otros métodos de reforzamiento con elementos metálicos en donde se refuerza de manera parcial el elemento estructural el elemento estructura, en este caso se recomienda el refuerzo por encamisado completo del elemento estructural en donde además es necesario realizar anclajes pasantes al elemento de concreto para garantizar el aumento de rigidez en la edificación.

4.3 Guía metodológica de interventoria para el reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura, mediante el uso de listas de chequeo basadas en los parámetros técnicos y normativos identificados, con el fin de garantizar la correcta supervisión de las obras y mejorar la seguridad y estabilidad de las edificaciones

Para el desarrollo de la guía metodológica se emplea el uso del marco normativo colombiano, especialmente la Norma NSR-10 y el documento AIS 410-23, en donde se establecen criterios y parámetros que son relevantes para el seguimiento y control en proyectos de reforzamiento estructural de edificaciones de baja altura.

El alcance de la guía metodológica propuesta no busca ser un documento robusto con toda la teoría del caso en asunto, pues solo relaciona los métodos y técnicas establecidos por la AIS 410-23 y las recomendaciones para el caso, en donde se desarrollan listas de chequeo sencillas y practicas que no se extienden en su contenido, puesto que, relacionan parámetros importantes de verificación a la hora de supervisar o realizar el seguimiento y control de este tipo de proyectos.

Para el desarrollo de listas de chequeo que sirvan de verificación y control para proyectos de reforzamiento en edificaciones de baja altura, se toma como punto de partida, la Lista de Verificación establecida en el Apéndice A-1 de la AIS 410-23, de la cual se extraen los parámetros más relevantes para el seguimiento y control técnico, en este tipo de obras. Dichos parámetros se relacionan en la siguiente tabla 19.

Tabla 19

Lista de verificación para el reforzamiento de viviendas según la AIS 410-23

Ítem	Descripción, verificación	Notas de Evaluación	Medidas de Intervención	Estado de Intervención
1	**CARACTERIZACIÓN DEL SITIO**			
1.1	LICUACIÓN: La vivienda no está ubicada en suelos sueltos, granulares, saturados o materiales potencialmente licuables en los suelos de cimentación.			C / NC / N/A
1.2	DESLIZAMIENTOS: Zona de amenaza baja. Pendiente del talud <18%. Alternativamente: Pendiente __%, H=__ m, Distancia=__ m. Condiciones según porcentaje.			C / NC / N/A
1.3	AVENIDA TORRENCIAL O INUNDACIÓN INDUCIDA POR SISMO: No hay fuentes como presas, acueductos, tanques. No está en zonas costeras o cercanas a cuerpos de agua.			C / NC / N/A
1.4	INUNDACIONES: No está en zona de exclusión por inundación según mapas locales.			C / NC / N/A
1.5	VOLCANES: No está en zona de exclusión volcánica según mapas locales.			C / NC / N/A
1.6	ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN: Identifique uno o varios de los tipos de muros de contención presentes en la vivienda: Muro de contención de sitio: • Si son de gravedad, no superan 2.0 m de altura. • Cuentan con perforaciones de drenaje. • Están en buenas condiciones, sin asentamientos ni agrietamientos. Muro de contención de cimentación: • Si son de mampostería, no superan 1.6 m de altura. • Cuentan con drenaje. • Sin desplomes ni daños. Muro de contención integrado: • Nivel retenido ≤ 2.4 m. • Con drenaje o sin humedad superficial. • Buen estado estructural.			C / NC / N/A
2	**ASPECTOS RELACIONADOS A LA CONFIGURACIÓN**			
2.1	VOLCAMIENTO: La altura total de la vivienda (H) es inferior a 3 veces la menor dimensión horizontal en planta (W). H = ___ m W = ___ m H/W = ___			C / NC / N/A

Ítem	Descripción, verificación	Notas de Evaluación	Medidas de Intervención	Estado de Intervención
2.2	IRREGULARIDADES EN PLANTA: La vivienda tiene una forma regular en planta.			C / NC / N/A
2.3	NÚMERO DE NIVELES: Máximo 3 niveles (zona baja/intermedia) o 2 niveles (zona alta).			C / NC / N/A
2.4	ALTURA LIBRE: Para mampostería confinada: ≤ 25 veces el espesor del muro. Para mampostería no reforzada: según Tabla 6.3-2 NSR-10.			C / NC / N/A
3	**ELEMENTOS ESTRUCTURALES**			
3.1	Cimientos: Daño clasificado como ninguno (<0.2mm), leve (0.2–1mm), moderado (1–3mm), fuerte (>3mm), severo (desprendimientos).			C / NC / N/A
3.2	Muros perimetrales: Continuidad ≥15% o ≥1.5m, excentricidad <15%, continuidad vertical completa.			C / NC / N/A
3.3	Muros internos: Separación ≤4m, continuidad vertical, traslapos adecuados, espesores mínimos (MNR 110/95 mm, MC 110 mm).			C / NC / N/A
3.4	Viga de amarre: Continua, sin acero expuesto, sin hormigueros, grietas <0.5mm, sin corrosión, sección ≥20,000 mm².			C / NC / N/A
3.5	Voladizos: Longitud ≤600mm, buen anclaje, sin deformaciones.			C / NC / N/A
3.6	Columnas de confinamiento: Sin fisuras, sin corrosión, presentes en esquinas e intersecciones.			C / NC / N/A
3.7	Aberturas en muros: Dinteles en aberturas >500mm, apoyo ≥200mm, sin grietas en esquinas.			C / NC / N/A
3.8	Aberturas en losas: ≤25% longitud, ≤2.5m, con viga de borde.			C / NC / N/A
3.9	Columnas aisladas: Dimensión ≥250mm o 300mm, no expuestas, sin fisuras.			C / NC / N/A
3.10	Sistemas de losa: Tipos (maciza, aligerada, prefabricada, colaborante), sin grietas >0.5mm, sin humedad.			C / NC / N/A
3.11	Sistemas de techo: Liviano bien anclado, teja barro soportada, losa sin fisuras, con viga de amarre.			C / NC / N/A
4	**ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**			
4.1	Escaleras: Conectadas, no dependientes del sistema sísmico, apoyadas correctamente, sin defectos.			C / NC / N/A
4.2	Parapetos: Bien adheridos, relación altura/espesor ≤1.5.			C / NC / N/A

Ítem	Descripción, verificación	Notas de Evaluación	Medidas de Intervención	Estado de Intervención
5	**ASPECTOS RELACIONADOS A LA CALIDAD**			
5.1	Unidades de mampostería: Sin desportillamiento, sin humedad, sin mezcla de materiales.			C / NC / N/A
5.2	Mortero: Juntas homogéneas (~10mm), buena adherencia.			C / NC / N/A
5.3	Revoques: Uniformes, adheridos, sin fisuras.			C / NC / N/A

Nota. Tomado de la AIS 410-23 Apéndice A-2, adaptado y modificado por Autores.

De acuerdo a la tabla 19, se pueden observar que muchos criterios están enfocados a la verificación de las condiciones existentes de una edificación de baja altura, especialmente cuando tiene un sistema estructural deficiente compuesto de muros parcialmente confinados. En este contexto teniendo en cuenta la tabla 19, y los diferentes parámetros normativos estudiados, a continuación, en la siguiente tabla 20, se establecen los criterios para la supervisión técnica resultado de la investigación, el cual relaciona los criterios de verificación más relevantes, la descripción de los mismos y los parámetros de verificación en obra junto con la relación normativa a la cual corresponde. Ver Tabla 20.

Tabla 20

Lista de chequeo para la supervisión técnica en proyectos de reforzamiento estructura

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Parámetro verificable en obra	Respaldo Normativo NSR-10	Estado (C/NC/NA)	Observación Recomendación
1	Evaluación previa de la edificación existente	Antes de intervenir, debe definirse si la actuación corresponde a reparación menor, cambio de uso, vulnerabilidad sísmica, modificación o reparación post-sismo.	Debe existir informe o diagnóstico estructural previo a la intervención.	A.10.1.3.1, A.10.1.3.2, A.10.1.3.3, A.10.1.3.4, A.10.1.3.6	C | NC | NA	

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Parámetro verificable en obra	Respaldo Normativo NSR-10	Estado (C/NC/NA)	Observación Recomendación
2	Supervisión técnica del proyecto	Verificar si el proyecto requiere supervisión técnica independiente o exigida por el diseñador.	Aplica si el área construida es mayor a 2000 m², si pertenece a grupo de uso III o IV, o si el diseñador la exige.	A.1.3.9, A.1.3.9.1, A.1.3.9.2, A.1.3.9.3	C | NC | NA	
3	Identificación del sistema estructural existente	El refuerzo debe ser compatible con el sistema resistente de la edificación.	Debe identificarse si la estructura es de muros de carga, sistema combinado, pórtico resistente a momentos o sistema dual.	A.3.2.1.1, A.3.2.1.2, A.3.2.1.3, A.3.2.1.4	C | NC | NA	
4	Verificación de cargas muertas	El análisis del refuerzo debe considerar acabados, particiones y sobrecargas permanentes.	Verificar en planos cargas de Fachadas y particiones en mampostería: **3.0 kN/m²**; particiones livianas: **2.0 kN/m²**; afinado de piso y cubierta: **1.6 kN/m²**.	B.3.4.3	C | NC | NA	
5	Verificación de cargas vivas	El refuerzo debe responder al uso real de la edificación.	Verificar en obra que los planos estructurales contengan las cargas utilizadas en el diseño Balcones: **5.0 kN/m²**; cuartos privados y corredores: **1.8kN/m²** escaleras: **3.0 kN/m²**.	B.4.2.1	C | NC | NA	
6	Registros de supervisión técnica en concreto	En obra deben existir controles y registros del proceso constructivo del refuerzo.	Verificar registros de: ensayos del concreto, colocación del acero, encofrados, curado, anclajes, secuencia constructiva y avance de obra.	C.1.3.2 literales (a) a (h)	C | NC | NA	
7	Tamaño máximo del agregado	El agregado debe permitir buena colocación y vibrado del concreto en zonas reforzadas.	Tamaño máximo nominal ≤ **1/5** de la menor dimensión del encofrado, ≤ **1/3** del espesor de la losa y ≤ **3/4** del espaciamiento libre entre barras.	C.3.3.2 literales (a), (b), (c)	C | NC | NA	
8	Separación entre barras longitudinales	Se busca garantizar vaciado, adherencia y correcto comportamiento del elemento.	Separación libre entre barras paralelas ≥ **db** y nunca menor de **25 mm**. (db: Longitud de desarrollo)	C.7.6.1	C | NC | NA	

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Parámetro verificable en obra	Respaldo Normativo NSR-10	Estado (C/NC/NA)	Observación Recomendación
9	Recubrimiento del refuerzo	Protege el acero contra corrosión y fuego, y mejora adherencia.	Contra el suelo: **75 mm**. Expuesto a intemperie: **50 mm** para barras No. 6 a No. 18 y **40 mm** para No. 5 y menores. Interior: losas, muros y viguetas **20 mm** para No.11 y menores y **40 mm** para No.14 a No.18; vigas y columnas **40 mm**.	C.7.7	C | NC | NA	
10	Módulo de elasticidad del concreto	Debe ser compatible con el valor usado en diseño, especialmente en encamisados o recrecidos.	Revisar que el proveedor entregue diseño de mezcla acorde al **Ec** considerado en planos y memorias. Expresión general: **$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$** para concreto normal, salvo ajuste por tipo de agregado.	C.8.5, CR.8.5.1	C | NC | NA	
11	Geometría de viguetas en losas nervadas	En viviendas de baja altura es común este sistema; su geometría afecta rigidez y seguridad.	Ancho superior ≥ **100 mm**; ancho promedio ≥ **80 mm**; altura ≤ **5 veces** el ancho promedio.	C.8.13.2	C | NC | NA	
12	Separación y luz de viguetas	Controla deformaciones y comportamiento de la losa.	Separación entre ejes ≤ **1.20 m** y ≤ **2.5** veces el espesor total. Luz libre ≤ **4.0 m** y ≤ **10** veces el espesor total.	C.8.13.3, C.8.13.3.1	C | NC | NA	
13	Espesor de capa superior en losas aligeradas	Garantiza comportamiento monolítico y distribución de cargas.	Con aligerantes permanentes: espesor ≥ **45 mm** y no menor que **1/20** de la distancia libre entre viguetas. Con aligerantes removibles: espesor ≥ **50 mm** y no menor que **1/12** de la distancia libre.	C.8.13.5.2, C.8.13.6.1	C | NC | NA	

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Parámetro verificable en obra	Respaldo Normativo NSR-10	Estado (C/NC/NA)	Observación Recomendación
14	Peralte mínimo de vigas para control de deflexión	Permite verificar rápidamente si la viga puede presentar deformaciones excesivas.	Con muros o particiones frágiles: vigas o losas nervadas simplemente apoyadas ≥ **L/11**, un extremo continuo ≥ **L/12**, ambos extremos continuos ≥ **L/14**, voladizo ≥ **L/5**. Sin particiones frágiles: **L/16**, **L/18.5**, **L/21**, **L/8**.	C.9.5.2.1, CR.9.5.2.1	C | NC | NA	
15	Refuerzo a cortante en vigas o elementos encamisados	En obra debe verificarse que el estribado no quede abierto ni demasiado separado.	Separación de estribos **s ≤ d/2** como verificación rápida de control.	C.11.4	C | NC | NA	
16	Longitud de desarrollo de barras a tracción	Garantiza que la barra alcance su resistencia sin deslizarse.	Para inspección rápida en baja altura, en condiciones favorables y fy≈420 MPa: #3 ≈ **41.6 cm** (f'c=21 MPa), **38.9 cm** (24 MPa), **36.0 cm** (28 MPa); #4 ≈ **55.4, 51.8, 48.0 cm**; #5 ≈ **69.3, 64.8, 60.0 cm**; #6 ≈ **83.1, 77.8, 72.0 cm**.	C.12.2.2	C | NC | NA	
17	Desarrollo de ganchos estándar en tracción	Se usa cuando no hay longitud recta suficiente, especialmente en nodos viga-columna.	ldh = 0.24ψe fy db / (λ√f'c), pero nunca menor que **8db** ni menor que **150 mm**. Valores guía: #3 ≈ **20.96 cm** (21 MPa), #4 ≈ **27.94 cm**, #5 ≈ **34.93 cm**, #6 ≈ **41.90 cm**.	C.12.5.1, C.12.5.2, C.12.5.3	C | NC | NA	
18	Reducción permitida de gancho estándar	Algunos ganchos pueden reducirse si existe confinamiento adecuado.	Para ganchos a 90° con recubrimiento lateral ≥ **65 mm** y extensión recta ≥ **50 mm**, puede multiplicarse por **0.7**. También aplica reducción con estribos de confinamiento a espaciamiento ≤ **3db**.	C.12.5.3	C | NC | NA	

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Parámetro verificable en obra	Respaldo Normativo NSR-10	Estado (C/NC/NA)	Observación Recomendación
19	Empalmes por traslapo en tracción	El empalme debe permitir transmisión adecuada de esfuerzos.	Traslapo Clase A = **1.0 ld**; Clase B = **1.3 ld**, pero nunca menor de **300 mm**. En inspección rápida, normalmente se usa Clase B.	C.12.15.1, C.12.15.2	C | NC | NA	
20	Empalmes en compresión	También deben verificarse cuando se prolongan barras de columnas o elementos verticales.	Para fy ≤ 420 MPa: longitud de empalme en compresión = **0.071 fy db**.	C.12.16.1	C | NC | NA	
21	Empalmes dentro del nudo	En zonas sísmicas es un punto crítico de revisión.	**No se permiten empalmes por traslapo dentro de los nudos**.	C.21.3.4.5	C | NC | NA	
22	Ancho mínimo de vigas en zona sísmica intermedia	Es una verificación geométrica básica en vigas principales del sistema.	En DMO, el ancho bw de la viga no debe ser menor de **200 mm**.	C.21.3.4.1	C | NC | NA	
23	Mampostería reforzada externamente	Útil cuando el refuerzo se hace con malla y mortero sobre muros existentes.	Espesor total del muro ≥ **130 mm**; cuantía vertical mínima **0.00035**; cuantía horizontal mínima **0.00035**; espaciamiento de malla ≤ **300 mm**; anclaje mínimo **9 clavos/m²** de diámetro mínimo **3 mm**, con cabeza saliendo al menos **10 mm**.	D.12.1.3, D.12.3.2, D.12.3.2.1, D.12.3.3	C | NC | NA	

Nota. Fuente: Autores de la investigación.

De acuerdo a los parámetros establecidos en la tabla 20, es importante aclarar que se basan en el cumplimiento de la Norma NSR-10. Por otra parte, con relación a los diferentes métodos de reforzamiento estructural para edificaciones de baja altura, estudiados, en la

siguiente tabla se observan los principales criterios identificados para su uso dentro del campo de la supervisión el seguimiento y control técnico en este tipo de proyectos. Ver tabla 21.

Tabla 21

Lista de chequeo para la supervisión técnica según métodos de reforzamiento

Ítem	Criterio	Explicación	Parámetro en obra	Error frecuente	Aceptación Cumple/No Cumple	Observación Recomendación
1.	**PAÑETE REFORZADO EN MUROS DE MAMPOSTERÍA**					
1.1	Viabilidad del método	Aplica solo para muros bajos y condiciones controladas	Altura muro ≤ **1.8m** y longitud ≤ **4.0 m**	Aplicarlo en muros altos		
1.2	Espesor del pañete reforzado	Define capacidad de refuerzo del sistema	Espesor mínimo: **3cm**	Espesor insuficiente		
1.3	Tipo de malla electrosoldada	Refuerzo principal del sistema	Malla típica: **4 mm @150–200 mm** o **5 mm @150 mm**	Malla muy liviana		
1.4	Configuración según altura del suelo	Ajuste del refuerzo según empuje	Depende de H y L (tabla 16)	No usar tabla de diseño		
1.5	Uso de viga de amarre	Garantiza confinamiento del muro	Se debe construir si no existe	No confinar el muro		
1.6	Uso de columnetas	Para muros más altos o largos	Altura hasta **2.4 m** con columnetas	No incluir columnetas		
1.7	Dimensiones de columnetas	Aportan rigidez al sistema	Sección mínima **100x300 mm o 100x400 mm**	Columnetas pequeñas		
1.8	Refuerzo en columnetas	Asegura capacidad estructural	3 o 4 barras #3	Acero insuficiente		
1.9	Ubicación de columnetas	Controla distribución de esfuerzos	1 columna en L/2 o 2 simétricas	Mala ubicación		
1.1	Anclaje de malla al muro	Garantiza adherencia del sistema	Barras en “L” @ **450 mm**	Malla sin anclaje		

Ítem	Criterio	Explicación	Parámetro en obra	Error frecuente	Aceptación Cumple/No Cumple	Observación Recomendación
2.	**REFORZAMIENTO DE MUROS CONFINADOS**					
2.1	Existencia de confinamiento	Mejora comportamiento sísmico	Muros deben tener vigas y columnas de amarre	Muros sin confinamiento		
2.2	Continuidad estructural	Evita fallas por discontinuidad	Muros conectados a losas y vigas	Muros aislados		
2.3	Aberturas en muros	Afectan resistencia sísmica	Evitar grandes aberturas sin refuerzo	Ventanas excesivas		
2.4	Relación área de muros	Control de capacidad sísmica	Cumplir PAM (porcentaje área muros)	Déficit de muros		
2.5	Verticalidad y alineación	Influye en estabilidad global	Muros sin desplomes visibles	Muros inclinados		
3.	**INTERVENCIÓN EN CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL**					
3.1	Regularidad en planta	Reduce torsión sísmica	Evitar formas irregulares	Planta irregular		
3.2	Número de niveles	Limita aplicabilidad del método	Viviendas ≤ 3 pisos	Exceder niveles		
3.3	Altura libre	Influye en rigidez	Alturas uniformes	Pisos muy altos		
3.4	Volcamiento	Controla estabilidad global	Relación altura/base adecuada	Edificaciones esbeltas		
4.	**CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES (AIS)**					
4.1	Unidades de mampostería	Determinan resistencia global	Bloques sin fisuras ni baja calidad	Bloques deteriorados		
4.2	Mortero de pega	Asegura adherencia	Mortero homogéneo y resistente	Mortero débil		
4.3	Pañete (revoque)	Parte del sistema reforzado	Buen adherido al muro	Desprendimiento		
5.	**PROCESO CONSTRUCTIVO DEL REFORZAMIENTO**					
5.1	Preparación del muro	Garantiza adherencia del refuerzo	Limpieza + rugosidad superficial	No preparar superficie		
5.2	Instalación de malla	Refuerzo principal del sistema	Malla bien tensada y fijada	Malla suelta		
5.3	Colocación del mortero	Define comportamiento final	Espesor uniforme ≥ 3 cm	Espesor irregular		
5.4	Curado	Evita fisuración	Curado mínimo 7 días	No curar		

Ítem	Criterio	Explicación	Parámetro en obra	Error frecuente	Aceptación Cumple/No Cumple	Observación Recomendación
5.5	Secuencia constructiva	Evita sobrecargas prematuras	Aplicación progresiva del refuerzo	Aplicación desordenada		
6.	**INSPECCIÓN Y VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS METALICOS Y CONEXIONES**					
6.1	Preparación de superficies	Garantiza adherencia y calidad de unión	Superficies limpias sin óxido, grasa o pintura	Soldar sobre superficies contaminadas		
62	Compatibilidad del sistema	Elementos deben coincidir con diseño	Platinas y perfiles según planos	Elementos incorrectos		
6.3	Calificación del personal	Asegura calidad de ejecución	Soldadores certificados	Personal no certificado		
6.4	Materiales	Control de insumos	Electrodos secos y certificados	Electrodos húmedos		
6.5	Precalentamiento	Evita fisuras	Aplicar cuando se requiera	No precalentar		
6.6	Ejecución	Calidad del cordón	Cordones continuos y uniformes	Cordones defectuosos		
6.7	Inspección final	Control de calidad	Sin fisuras ni porosidad	Aceptar defectos		
6.8	Dimensiones	Cumplimiento diseño	Tamaño y longitud adecuados	Cordón insuficiente		
6.9	Protección	Durabilidad	Pintura anticorrosiva	No proteger		
6.10	Recepción	Control documental	Certificado de fábrica	Sin certificado		
6.11	Geometría	Compatibilidad	Diámetro y longitud correctos	Dimensión incorrecta		
6.12	Almacenamiento	Evita deterioro	Protección contra humedad	Oxidación		
6.13	Perforaciones	Correcta instalación	Diámetro y limpieza adecuada	Perforación sucia		
6.14	Montaje	Alineación del sistema	Elementos alineados	Desalineación		
6.15	Pretensionamiento	Resistencia de unión	Uso de torquímetro	Torque incorrecto		
6.16	Secuencia	Evita fallas	Apriete progresivo	Apriete aleatorio		
6.17	Inspección final	Control de calidad	Sin holguras	Pernos flojos		

Ítem	Criterio	Explicación	Parámetro en obra	Error frecuente	Aceptación Cumple/No Cumple	Observación Recomendación
6.18	Protección	Durabilidad	Protección anticorrosiva	Sin protección		
6.19	Preparación de superficies	Garantiza adherencia y calidad de unión	Superficies limpias sin óxido, grasa o pintura	Soldar sobre superficies contaminadas		
6.20	Compatibilidad del sistema	Elementos deben coincidir con diseño	Platinas y perfiles según planos	Elementos incorrectos		

Nota. Autor propio.

Como se puede apreciar en la tabla 21, se relacionan los principales parámetros técnicos que son objeto de seguimiento y control a la hora de llevar a cabo un reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura. Por consiguiente, como parte del valor agregado y del producto derivado de la presente investigación se desarrolla la guía metodológica en la cual se relacionan las principales causas del déficit estructural de una edificación, los métodos respaldados por el documento AIS 410-23 y los parámetros de chequeo y control establecidos en base al estudio realizado. Ver Apéndice A.

Conclusiones

Con relación al estudio de la Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y el documento técnico de la Asociación Colombiana de Ingenieria Sísmica AIS 410-23, a pesar de que se establecen lineamientos técnicos para el reforzamiento estructural de edificaciones existentes, la investigación evidencia una brecha significativa entre lo normativo y su aplicación en campo, especialmente cuando en una edificación informal se combinan diferentes sistemas constructivos de forma errónea, lo que limita la efectividad real del reforzamiento y compromete la reducción de la vulnerabilidad sísmica.

De acuerdo a los diferentes métodos de reforzamiento estructural revisados, se destaca la técnica del pañete reforzado para muros de mampostería, la cual está compuesto por mortero y malla electrosoldada sujeta con ganchos de anclajes al muro, y se constituye como una técnica económica que sirve para mejorar las condiciones de vulnerabilidad sísmica de muros medianeros o divisorios dentro de una edificación de baja altura, caso contrario es el método menos viable para el reforzamiento de edificaciones de baja altura corresponde al uso de elementos metálicos para encamisado de elementos estructurales, dado que por lo general las edificaciones de baja altura carecen de pórticos resistentes a momentos y se conforman mas que todo por muros en mampostería confinada, no confinada y reforzada.

Con respecto al producto resultado de la investigación, demuestra que no es suficiente con definir criterios de diseño; es indispensable desarrollar lineamientos operativos que orienten la supervisión técnica en obra mediante parámetros verificables (dimensiones, longitudes de

anclaje, espaciamientos, tolerancias). Esto permite estandarizar la inspección, reducir errores frecuentes y asegurar que los métodos de reforzamiento cumplan su función estructural prevista.

El desarrollo de la guía permite un enfoque relacionado con métodos de reforzamiento para edificaciones de baja altura, en donde los distintos parámetros contemplados están enfocados desde el punto de vista de la supervisión, por lo que no se tienen en cuenta parámetros que son previamente establecidos en la etapa de diseño de un reforzamiento estructural.

Con respecto al enfoque de la guía metodológica propuesta se concluye que es importante proponer métodos prácticos y útiles para el reforzamiento estructural en edificaciones existentes de origen informal, ya que en el territorio colombiano este tipo de viviendas son las mas expuestas a fallas estructurales y posibles colapsos cuando la estructura presenta una resistencia menor a las solicitadas por cargas gravitaciones y sísmicas.

Referencias

Acosta (2021). *Estrategias de control y seguimiento técnico en obra bajo la metodología PMI y la filosofía Lean Construction; caso de estudio: Compañía D.R. Construcciones.* [Trabajo de Posgrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/2ba625dd-78fb-4c66-bff9-a3bd1c898282/content

Al-Hussaini, T. M., Kolathayar, S., & Al-Saadi, M. (2022). Seismic Strengthening Solutions for Existing Buildings. Sreevalsa Kolathayar. *Civil Engineering for Disaster Risk Reduction.* (pp. 359-372). Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5312-4_24

Ayala & Giraldo (2018). *Estudio del método de recrecido en concreto armado para el refuerzo de vigas y columnas de una edificación.* [Trabajo de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. https://repository.udistrital.edu.co/items/511de47c-a3c5-40f5-b7e5-e3f3a6b7ba16

Barbagallo, F., Licciardello, E., Marino, E. M., Mazzotti, C., & Pozza, L. (2025). Dissipative CLT-Based Seismic Upgrading System forRC-Framed Structures: Experimental Characterization, Numerical Modelling, and Design Guidelines. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics.* Vol. 54. pp. 1775-1796. https://www-scopus-com.sibdigital.ufpso.edu.co/pages/publications/105002485112#

Brizuela (2021). *Influencia de la rigidez de la fibra en el comportamiento estructural de elementos de hormigón armado reforzados con FRP.* [Tesis Doctoral, Universidad Politècnica de Madrid]. Repositorio Institucional. https://oa.upm.es/67670/1/DANIELA_ALEJANDRA_BRIZUELA_VALENZUELA.pdf

Borja & Torres (2015). *Diseño del reforzamiento estructural de un edificio de departamentos de 4 plantas ubicado en el sector de Quitumbe, cuidad de Quito, provincia de Pichincha.* [Trabajo de pregrado, Escuela Politècnica Nacional, Quito Ecuador]. Repositorio Institucional. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11859

Build Change (2015). *Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas.* https://get.buildchange.org/wp-content/uploads/2016/04/15-11-05-BC_Manual-de-Evaluacion-y-Reforzamiento.pdf

Bungacho J., Baquero R. & Hernández L. (2022). Evaluación de vulnerabilidad sísmica, análisis estructural y diseño de reforzamiento de una vivienda en Quito–Ecuador. *Revista Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones.* 5(2). 2636-2171. DOI: https://doi.org/10.22206/cyap.2022.v5i2.pp63-79

Castillo Robles, C., Castillo, J., Placencia Andrade, P., Hernández Rodríguez, L. T., Herrera, M., & Gómez, C. (2022). Reforzamiento estructural en viviendas adosadas mediante recubrimiento de mampostería con malla electrosoldada y mortero. *Revista Gaceta Técnica.* 23(2), 53–69. https://www.redalyc.org/journal/5703/570371887005/html/

Consejo Profesional Nacional de Arquitectura y sus Profesiones Auxiliares (2023). *Boletín Bogotá febrero de 2023.* https://www.cpnaa.gov.co/tres-de-cada-cinco-viviendas-en-colombia-son-fabricadas-sin-licencia-de-construccion/

Cuervo G., Silva L. & Páez S. (2022). *Metodología de seguimiento y control para la interventoría técnica en proyectos de reforzamiento estructural para casas de uno y dos pisos de material adobe y tapia consideradas patrimonio cultural.* [Trabajo de posgrado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Repositorio Institucional. https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/965892b1-09da-44b1-9360-41f18fff169f/content

DANE (2022). *Boletín técnico Déficit Habitacional.* https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/deficit-habitacional

Duque, A. (2015). *Modelo de supervisión para el reforzamiento estructural de una vivienda de 1 y 2 niveles con la metodología de Build Change*. [Trabajo de pregrado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas]. Repositorio Institucional. https://repository.udistrital.edu.co/items/f1c48680-c0fb-434f-97ad-62b608fca7ad

Feliciano D., Arroyo O., Cabrera T., Contreras D., Valcárcel J. & Gómez J. (2022). Seismic risk scenarios for the residential buildings in the Sabana Centro province in Colombia. *Natural Hazards and Earth System Sciences.* https://doi.org/10.5194/nhess-2022-73

Gamba (2019). *Reforzamiento por una cara de muros de mampostería de arcilla con unidades de perforación horizontal.* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77673/1049631625.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garcia & Chirico (2012). *Propuesta metodológica constructiva de rehabilitación estructural de edificios aporticados de concreto armado.* [Trabajo de pregrado, Universidad de Carabobo]. Repositorio Institucional. http://riuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/5203

Garzón J. & Landin M. (2017). *Manual de técnicas para rehabilitación y reforzamiento en columnas y vigas de hormigón armado deterioradas por agentes mecánico.* [Trabajo de Pregrado, Universidad de Cuenca, Ecuador]. Repositorio Institucional. https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/adfb884e-3d6b-4414-8717-9e2a23db3f4e

Gómez (2022). *Informalidad en la vivienda y propuestas de solución.* Banca & Economía. https://www.asobancaria.com/wp-content/uploads/2022/02/1317_BE.pdf

Héndez (2013). *Reforzamiento estructural sismo resistente de viviendas informales en Bogotá.* [Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. E Libro. https://elibro-net.sibdigital.ufpso.edu.co/es/ereader/ufpso/130003

Herrera, M., Gómez, C., Parra, G., Arévalo, D., Guaminga, E., & Hernández, L. (2022). Análisis del reforzamiento de una estructura construida informalmente mediante el uso de enchapes. *Revista Gaceta Técnica.* 23(2). pp. 4-22. https://www.redalyc.org/journal/5703/570371887002/html/

Huanca & Paucar (2023). *Evaluación sísmica y reforzamiento estructural de la benemérita, heroica y sesquicentaria Compañía Francesa de Bomberos Voluntarios France N° 3 ubicado en Lima, Perú.* [Trabajo de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/670428/Huanca_TS.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Lopez R. (2017). Estudio de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en el Asentamiento Humano San Carlos de Murcia, Chachapoyas. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería.* 3(1). DOI: https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.588

Maldonado & Durán (2013). *Metodologías para evaluación y reforzamiento estructural de edificios de hormigón armado mediante muros de corte y fibras de carbono.* [Trabajo de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional. https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8d6c401b-6a33-4c6c-8013-012c06e9eb7c/content

Morocho & Obelencio (2024). *Propuesta de reforzamiento estructural de una casa patrimonial ubicada en el centro histórico de Cuenca.* [Trabajo de pregrado, Universidad Politècnica de Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28434/1/UPS-CT011544.pdf

Moya L., Vilela M., Jaimes J., Espinoza B., Pajuelo J., Tarque N., Santa Cruz S., Vega P. & Yamazaki F. (2024). Vulnerabilidades y exposición de las zonas urbanas informales recientes en Lima, Perú. *Revista Avances en la ciencia de los desastres.* Vol. 23. https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100345

Navarrete (2017). *Procedimiento de refuerzo de estructuras de hormigón armado con materiales CFRP.* [Trabajo de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa Maria, Valparaíso-Chile]. Repositorio Institucional. https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/edf05c02-527a-46be-a7bd-05d01a86e816

Navarro & Quiroz (2012). *Reparación y reforzamiento de construcciones informales.* [Trabajo de Pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional. https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/d19078db-6bb3-4faa-82bf-845ab7dab274/content

Ojeda (2022). *Estudio de reforzamiento de edificaciones informales por medio de enchapamiento con mallas.* [Trabajo de pregrado, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador]. Repositorio Institucional. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22950/3/CD%2012409.pdf

Palomino (2014). *Guía para supervisión técnica de estructuras de concreto reforzado.* [Trabajo de pregrado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Institucional. https://repositorio.unicartagena.edu.co/server/api/core/bitstreams/d5fc6f61-ea83-4fe9-ad24-dfab6b205875/content

Paredes (2022). *Reforzamiento con Encamisado de Concreto Armado en el Comportamiento Estructural de una Vivienda Multifamiliar, Distrito del Tambo – Huancayo.* [Trabajo de pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional. https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/4511

Piña J. (2020). Método de Calculo de la longitud de desarrollo NSR-10 C.12. *SCRIBD. https://es.scribd.com/document/475703233/Calculo-Longitud-de-desarrollo*

Prota, A., Tartaglia, R., Di Lorenzo, G., & Landolfo, R. (2024). Fortalecimiento sísmico de estructuras aisladas de hormigón armado mediante exoesqueleto de acero ortogonal: Análisis no lineales bidireccionales. *Engineering Structures.* 302(117496). https://www-scopus-com.sibdigital.ufpso.edu.co/pages/publications/85182274355

Rochel (2012). *Analisis y diseño sísmico de edificaciones.* (2ª ed.). Fondo Editorial Universidad EAFIT. https://www.academia.edu/37601450/Analisis_y_diseno_sismico_de_edificios_Roberto_Rochel

Rodríguez (2020). *Análisis comparativo de las diferentes metodologías de reforzamiento estructural aplicables a edificaciones construidas en concreto reforzado.* [Trabajo de pregrado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas]. Repositorio Institucional. https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/207897d5-42a7-458a-b115-b61b73efc96a/content

Ruiz D., Barrera N., Reyes J., Restrepo M., Alvarado Y., Lozada M. & Vacca H., (2023). Refuerzo de construcciones históricas de tierra con placas de acero: Ensayo a escala real de un muro de dos pisos sometido a carga lateral en el plano. *Revista Construcción y materiales de construcción.* Vol. 13. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822035334?utm_source=chatgpt.com

Servicio Geológico Colombiano (2021). *Sismicidad Histórica de Colombia.* https://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAInfoDetallada&idSismo=62#

Sika (2017). *Concreto reforzamiento de estructuras de concreto. https://col.sika.com/dms/getdocument.get/c5fbb55d-9240-3b09-9eee-edf695806345/Reforzamiento%20Estructuras%202017.pdf*

Tang (2023). Aplicación de la tecnología BIM en la inspección de obras de refuerzo y rehabilitación de edificios existentes. *Revista de ingeniería de Alejandría.* Vol. 82. Pp. 240-247. https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.09.075

Torres & Arias (2019). Identificación de malas prácticas constructivas en la vivienda informal. Propuesta educativa. *Revista Tecnura.* 23(59). https://doi.org/10.14483/22487638.14823

Trigos (2024). *Metodología Para El Reforzamiento Estructural No Invasivo De Viviendas Informales Que Incumplen El Titulo E NSR-10.* [Tesis de Posgrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional. https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/bitstream/handle/20.500.14167/5386/trabajo_grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Trigos & Perez (2019). *Guía para la supervisión técnica de proyectos de rehabilitación estructural por el método del recrecido.* [Trabajo de posgrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional. https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/handle/20.500.14167/913?locale-attribute=en

Zuluaga (2023). *Estudio de caso: supervisión técnica de obras en proyectos de reforzamiento estructural de edificaciones verticales basado en la experiencia en la obra LJCG.* [Trabajo de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/1d338e38-62f3-4d18-938c-ada027bfbd25/content

Apéndice

Apéndice A. Guía metodológica para el reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación

GUÍA METODOLÓGICA DE INTERVENTORIA

REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES DE BAJA ALTURA

Parámetros y recomendaciones en cumplimiento al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Decreto 1401 de 2023 - Validación de requerimientos de la AIS 410-23

Autores:

Ing. Iuan Carlos Isaza Parra

Ing. Yandry Iuliana Mora Contrera

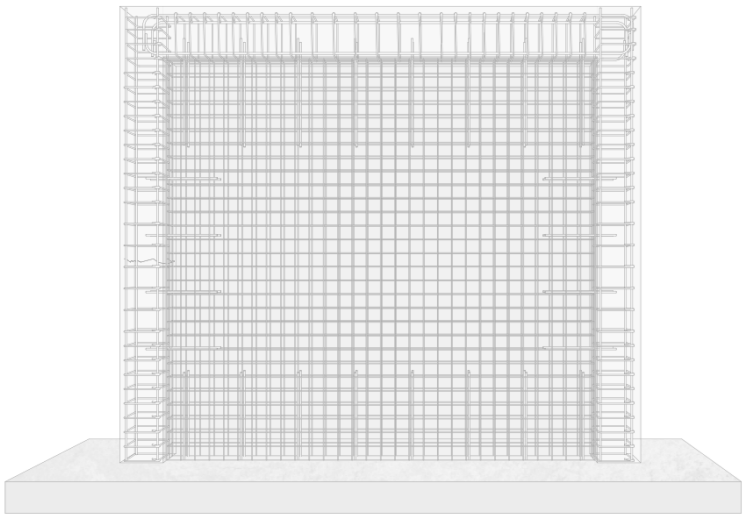
2026

FACULTAD DE INGENIEIRAS

Programa de Especialización en Interventoria de Obras Civiles

Contenido

1. Contexto 3
2. Identificación y evaluación de daños y fallas en edificaciones 4
3. Técnicas y parámetros de reforzamiento 6
3.1 Reforzamiento con pañete reforzado en muros de mampostería 6
3.2 Construcción de columnas nuevas de confinamiento en muros existentes 8
3.3 Construcción de vigas de cimentación en muros existentes 9
3.4 Conexión de muro nuevo a losa existente 10
4. Técnicas de rehabilitación de lesiones en el concreto 13
4.1 Reparación de muros de mampostería: 13
4.2 Reparaciones en columnas 14
4.3 Reparaciones en Vigas 15
5. Seguimiento y Control 16
7. Conclusiones 28
8. Recomendaciones 28
9. Referencias 29



1. Contexto

La presente guía sirve como una herramienta que busca brindar un apoyo para llevar a cabo una buena supervisión técnica en proyectos de reforzamiento estructural, enfocado a edificaciones de baja altura y destacando los métodos de reforzamiento recomendados por la AIS 410-23, proponiendo listas de chequeo sencillas que sirvan para el seguimiento y control en el procedimiento constructivo de un reforzamiento estructural.

Con respecto al enfoque del presente documento, es importante entender que el Reforzamiento estructural de una edificación existente, se determina principalmente por las siguientes causas: fallas estructurales que requieren de reparación inmediata, ampliación del numero de pisos o cambios de uso en una edificación (residencial, comercial, bodega). En este caso el desarrollo de la guía se relaciona con estructuras que requieren de reparación inmediata, debido a su sistema estructural deficiente o riesgo sísmico.

Con relación a la tipología de edificaciones que generalmente requieren de una reparación o reforzamiento estructural, son edificaciones mal construidas, sin el estricto cumplimiento de las normas reglamentarias y edificaciones antiguas construidas con técnicas ancestrales como la tapia pisada y el bahareque. Las técnicas de reforzamiento relacionadas en esta guía, se enfocan en edificaciones de baja altura, construidas de manera informal o por autoconstrucción, sin seguir ninguna practica responsable o cumplimiento normativo vigente, ya que este tipo de edificaciones aún se sigue presentando en el territorio colombiano y representan un riesgo potencial, especialmente en aquellos casos en donde se habitan viviendas con fallas estructurales, que no son detectadas o reparadas a tiempo y pueden poner en riesgo la vida de sus ocupantes a la hora de presentarse una eventualidad sísmica que termine de dañar una estructura hasta llevarla a su colapso, puesto que el hecho de que una estructura con fallas estructurales cumpla a satisfacción las cargas gravitacionales y de uso de la edificación, no garantiza que pueda resistir cargas horizontales (sísmicas), sin previo análisis o estudio correspondiente que determine lo contrario.

Con relación al sistema estructural de una edificación de baja altura, consiste en usar un sistema constructivo que puede estar conformado en los mejores casos por pórticos resistentes a momentos, y en otros casos por mampostería confinada y no confinada. Con respecto a la construcción informal se pueden encontrar casos en donde se combinen sistemas constructivos y para clasificar la edificación, se recomienda definir el sistema constructivo predominante.

De acuerdo a los diferentes sistemas de reforzamiento, para el caso del territorio colombiano, se debe cumplir como mínimo la NSR-10 y en este caso con el documento AIS 410-23, el cual es adoptado como norma gracias al Decreto 1401 de 2023, Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NR-10, en donde se introduce la sección:

A.10.9.2.7 — **Edificaciones de viviendas de mampostería** — Cuando se trate de edificaciones de viviendas de uno, dos y tres pisos construidos en mampostería, la evaluación, intervención y reducción de vulnerabilidad podrá realizarse siguiendo los requisitos de la Norma AIS 410-23: "Evaluación y Reducción de la Vulnerabilidad Sísmica en viviendas de mampostería".

Dentro de la AIS 410-23, se validan algunos métodos de reforzamiento, sin embargo, también se deja claro que se pueden usar métodos y materiales diferentes a los permitidos siempre y cuando el diseñador estructural presente evidencia experimental que demuestre que la alternativa propuesta cumple con su propósito en cuanto a seguridad, durabilidad resistencia y rigidez. (AIS 410-23, Literal 4.3.1-pág.30)

En contexto dentro del desarrollo de la guía se relacionan recomendaciones prácticas producto de la experiencia de autores y son útiles para el seguimiento y control en proyectos de reforzamiento estructural.

2. Identificación y evaluación de daños y fallas en edificaciones

Para llevar a cabo o determinar la necesidad de un reforzamiento estructural, se debe realizar un respectivo análisis estructural para verificar mediante modelación de elementos finitos, que la edificación cumple o presenta deficiencias en su estructura, por otra parte, cuando son fallas que no amenazan la vida humana se pueden tener en cuenta los siguientes criterios, de acuerdo a la AIS 410-23 se establece:

a). Información previa (antes de visita):

- Mapas de zonificación geotécnica.
- Mapas de amenazas naturales (alta, media, baja).
- Mapas de respuesta sísmica.
- Mapas de licuación de suelos.
- Mapas de riesgo por fenómenos naturales.
- Mapas de restricciones (inundación, ronda hídrica, etc.).
- Uso del suelo.
- Estudios de suelos cercanos.

b). Verificación en campo:

- Confirmar información documental.
- Relación con edificaciones vecinas.
- Definición de linderos.
- Verificar pendiente del terreno: < **18%** → baja amenaza (**Cumple**).
- Verificar distancia mínima: **H/3** (pendiente < 18%), **H/2** (pendiente > 18%)
- Identificar evidencias de inestabilidad (deslizamientos, grietas, etc.).
- Solicitar concepto geotécnico si hay dudas.
- Si el terreno es estable → **Cumple**.

c) Verificación Estructura de cimentación:

- Verificar tipo, calidad y estado de la cimentación.
- Identificar patologías (grietas, degradación, etc.).
- Realizar ensayos si hay daños relevantes.
- Ejecutar mínimo **2 apiques** dentro de la vivienda.
- Seleccionar puntos estratégicos de inspección.
- Profundidad mínima: **1.0 m**.

- Excavación: **0.80 × 0.80 m** (mínimo).
- Demoler contrapiso si existe.
- Registro fotográfico del apique.
- Verificar existencia del cimiento y nivel freático.
- Identificar tipo de cimentación.
- Revisar integridad del material.
- Verificar que el refuerzo no esté expuesto.
- Verificar suelo de apoyo (sin materia orgánica).

d). Nivelación del piso y verticalidad de muros:

- Verificar nivelación del piso para identificar asentamientos diferenciales.
- Usar nivel (manguera, burbuja o electrónico).
- Marcar niveles en muros principales.
- Comparar con límites del Título H NSR-10.
- Verificar verticalidad de muros con plomada.
- Medir desplome al inicio y final de cada muro.
- Desplome máximo permitido: **1/12 del espesor del muro**.
- Entre **1/12 y 1/6**: corregir con revoque (pañete).
- Mayor a **1/6**: demolición y reconstrucción.

e). Elementos en concreto existentes

- Verificar calidad del concreto: fisuras, oquedades, deflexiones, verticalidad, homogeneidad e integridad.
- Confirmar dimensiones de secciones y cantidad/estado del refuerzo.

  Vigas de amarre:

- Sección ≥ **200 cm²** (ancho igual al muro).
- Sin refuerzo expuesto.
- Sin hormigueros o vacíos.
- Sin segregación del concreto.
- Sin grietas > **0.5 mm**.
- Sin corrosión del refuerzo.
- Sin carbonatación del concreto.

  Columnas de confinamiento:

- Sección ≥ **200 cm²** (espesor igual al muro).
- Sin refuerzo expuesto.
- Sin grietas diagonales > **1.5 mm**.
- Sin grietas verticales > **0.4 mm**.
- Sin grietas horizontales > **1.5 mm**.
- Sin hormigueros o vacíos.
- Sin segregación del concreto.
- Sin deformaciones excesivas.
- Sin pérdida de verticalidad.

  Placas (entrepiso y techo):

- Verificar configuración estructural y refuerzo.
- Evaluar deflexiones, humedad, corrosión, acero expuesto y fisuras.
- Registrar hallazgos en lista de verificación.

f) Revisión de tejas/cubierta:

- Láminas de zinc: sin abolladuras, huecos ni oxidación.
- Asbesto cemento: cumplir Ley 1968 de 2019.
- Tejas de barro: verificar fisuras; preferible reemplazo por material liviano.
- Verificar anclaje de tejas a correas (pernos, tornillos o amarres).
- Verificar anclaje de correas a muros o elementos de concreto.
- Asegurar conexión entre correas y elementos estructurales horizontales.
- Identificar caballetes y planificar retiro seguro de cubierta.

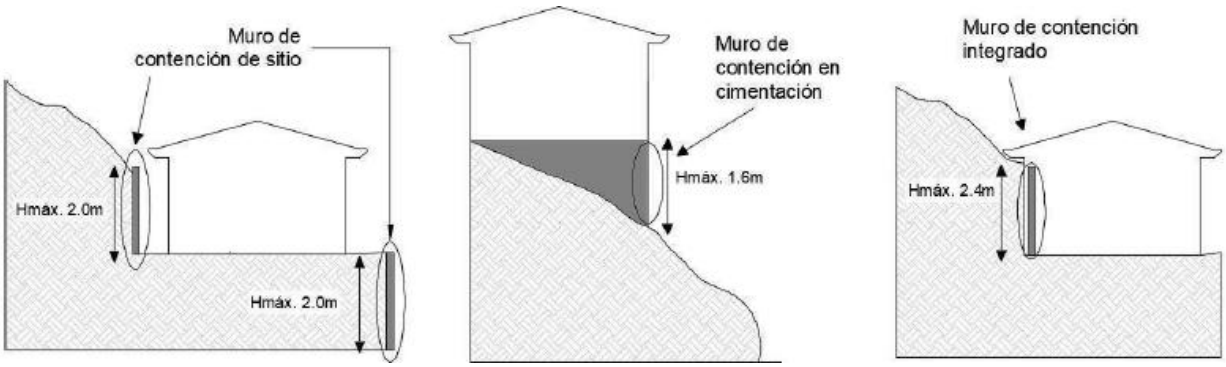


Figura 1. *Tipologías de muros de contención en edificaciones de baja altura. Fuente: AIS 410-23*

g). Verificación Estructuras de contención:

Para el caso de vivienda de baja altura, se identifican tres tipologías de muros los cuales se pueden apreciar en el esquema de la figura 1. Con respecto a los parámetros para el diagnostico inicial se desenvuelven en:

Muros de contención de sitio:

- Verificar existencia (gravedad ≤ **2.0 m** de altura).
- Deben tener drenaje.
- Buen estado (sin daños ni discontinuidades).
- Distancia mínima a la vivienda: **2.0 m.**

Muro de contención en cimentación:

- Altura ≤ **1.6 m**.
- Deben tener drenaje.
- Buen estado (sin discontinuidades).

Muro de contención integrado:

- Nivel de suelo retenido ≤ **2.4 m**.
- Verificar humedades en superficie.
- Buen estado (sin grietas, asentamientos o deterioro).

h). Verificación de Volcamiento

- Medir altura total de la vivienda (base a punto más alto).
- En techos inclinados: medir hasta viga de amarre (o nivel proyectado).
- Medir dimensiones en planta.
- Identificar el lado más corto.
- Verificar relación: **altura / lado corto < 3**.
- Si no cumple: -Ajustar altura o dimensiones en planta. -Si no es posible → requiere evaluación detallada.

3. Técnicas y parámetros de reforzamiento

3.1 Reforzamiento con pañete reforzado en muros de mampostería

Los muros en viviendas de baja altura pueden ser: perimetrales, divisorios o de contención.

Los muros de contención pueden ser reforzados, no reforzados o confinados.

Se diferencian en:

- Muros no estructurales (sin continuidad con el sistema).
- Muros estructurales o integrados (amarrados a losas y que contienen suelo).

Para muros que contienen suelo:

- Pueden actuar como elementos estructurales o solo recubrimiento de taludes.

Técnica recomendada:

- Pañete reforzado (mortero + malla electrosoldada).
- Espesor: **= 3 cm**.
- Aplicable si:
    - Longitud ≤ **4 m**
    - Altura ≤ **1.8 m**

El diseño del refuerzo depende de:

- Longitud del muro.
- Altura del suelo contenido (según tabla AIS 410-23).

El procedimiento constructivo de este método, se puede observar en la figura 2 y figura 3, en donde se recomienda el uso de epóxico para anclar las varillas que en la viga de cimentación del concreto que posteriormente va a servir de anclaje para la malla electrosoldada la cual debe ser como mínimo de 4mm a 5mm.

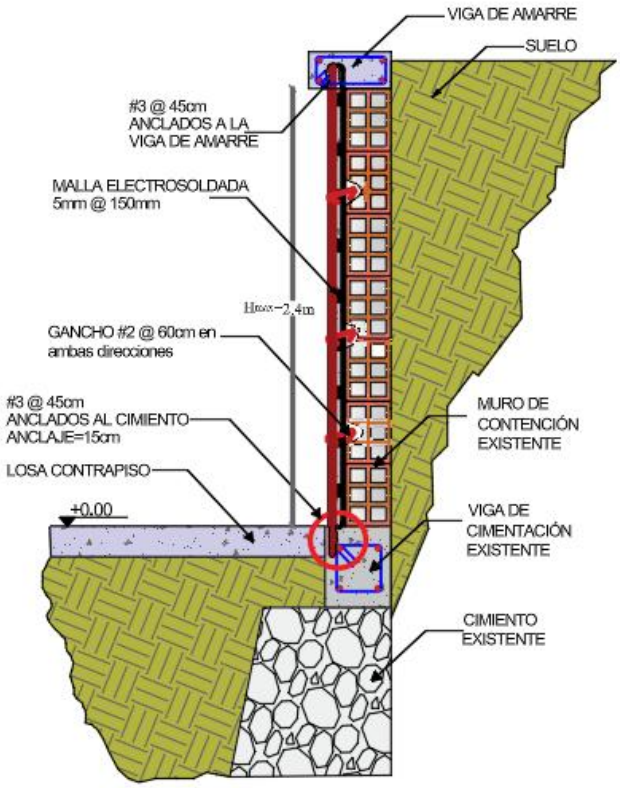


Figura 2. *Perfil refuerzo de muro con malla electrosoldada. Fuente: Adaptado de la AIS 410-23.*

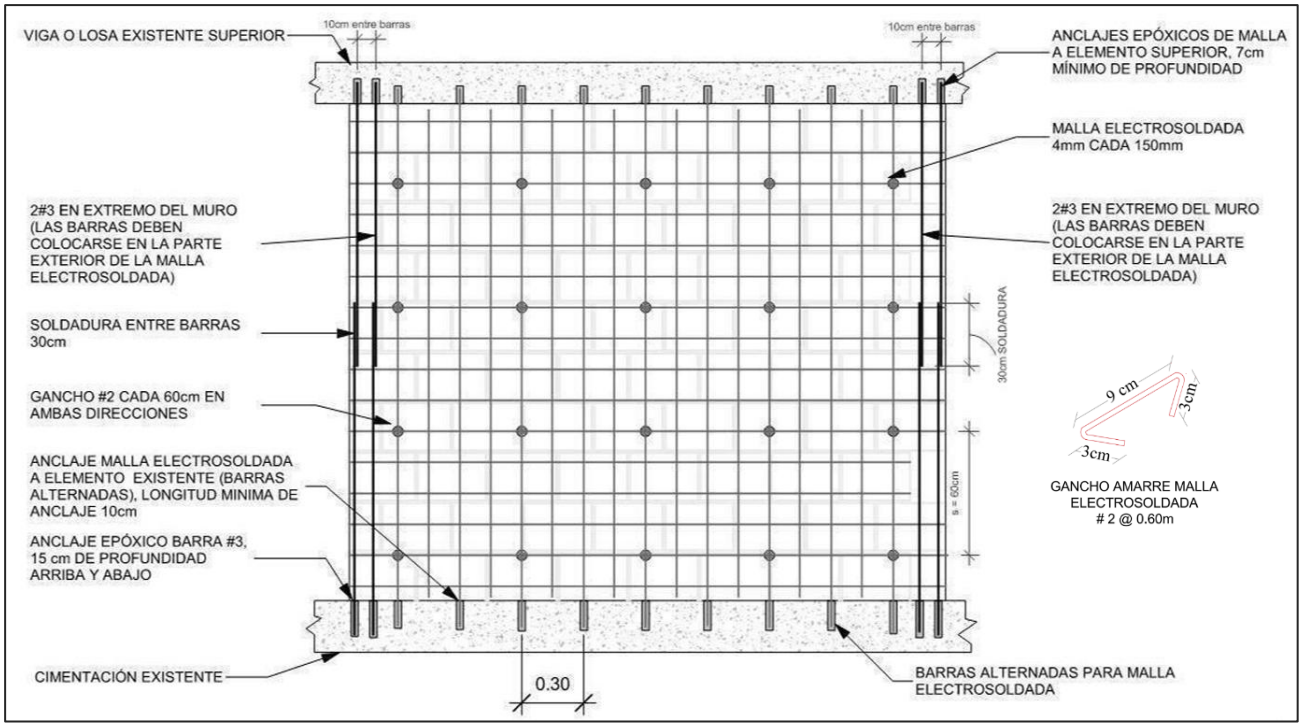


Figura 3. *Esquema de refuerzo de muro con malla electrosoldada. Fuente: AIS 410-23*

3.2 Construcción de columnas nuevas de confinamiento en muros existentes

- Ancho ≥ espesor del muro.
- Área ≥ **20,000 mm² (200 cm²)**.
- Concreto reforzado f'c ≥ **17.5 MPa**.
- Refuerzo longitudinal: ≥ **4 barras #3 (3/8") o 10M (10 mm)**
- fy = **420 MPa**
- Refuerzo transversal:
- Estribos cerrados (#2 o 6 mm o #3)
- Separación ≤ **150 mm**

Deben anclarse a:
-Vigas de cimentación. -Vigas de amarre superior

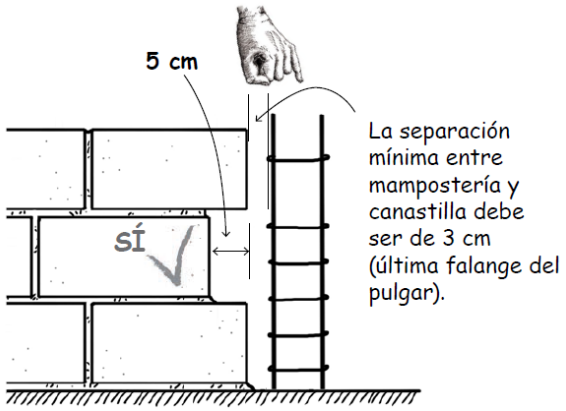


Figura 4. *Separación de acero y muro existente. Fuente: Agencia Suiza para el Desarrollo Y la Cooperación COSUDE (2017)*

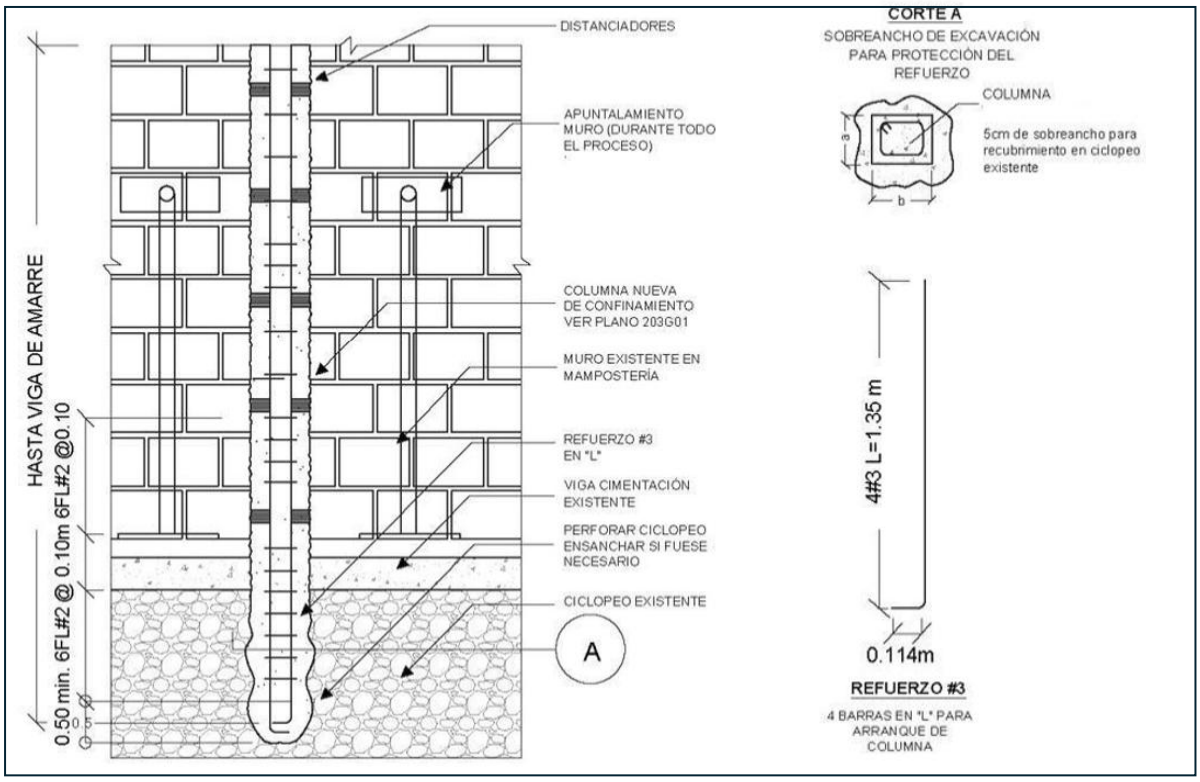


Figura 5. *Esquema columna nueva de confinamiento en muro existente. Fuente: AIS 410-23*

3.3 Construcción de vigas de cimentación en muros existentes

Tipo I – Vivienda de un nivel o conexión a muros de contención

- Sección: **0.20 × 0.25 m**
- Refuerzo longitudinal: **4 barras #3**
- Refuerzo transversal: **estribos #2**
- Recubrimiento: **5 cm**
- Aplicación: muros de un nivel (con o sin muros) y conexión con muros de contención.

Tipo I – Muros continuos en dos niveles:

- Sección: **0.30 × 0.25 m**
- Refuerzo longitudinal: **4 barras #4**
- Refuerzo transversal: **estribos #2**
- Recubrimiento: **5 cm**
- Aplicación: muros continuos en dos niveles y vigas sobre muros de contención.

Tipo II – Bajo muros medianeros:

- Sección: **0.20 × 0.25 m**
- Refuerzo longitudinal: **4 barras #3**
- Refuerzo transversal: **estribos #2**
- Conectores: **@ 80 cm**
- Recubrimiento: **5 cm**
- Aplicación: conformación de diafragma en muros medianeros.

Tipo III – Bajo muros divisorios o centrales:

- Sección: **0.20 × 0.25 m**
- Refuerzo longitudinal: **2 capas de 4 barras #3 (doble refuerzo)**
- Refuerzo transversal: **estribos #2**
- Conectores: **@ 80 cm**
- Recubrimiento: **5 cm**
- Aplicación: conformación de diafragma en muros divisorios o centrales.

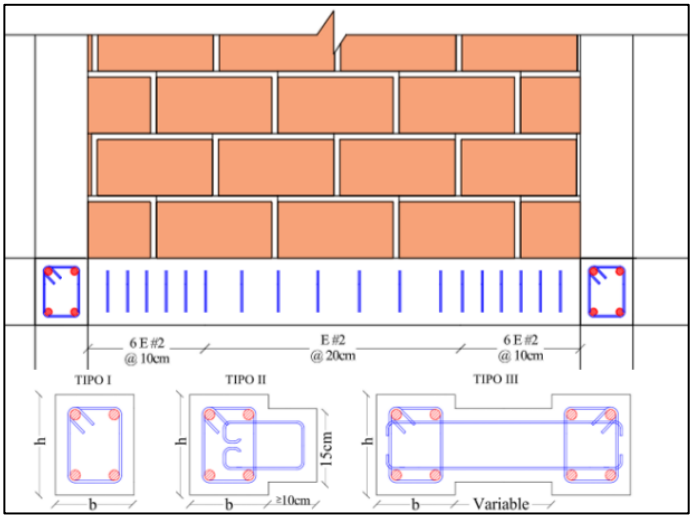


Figura 6. *Tipo de vigas de cimentación. Fuente: AIS 410-23*

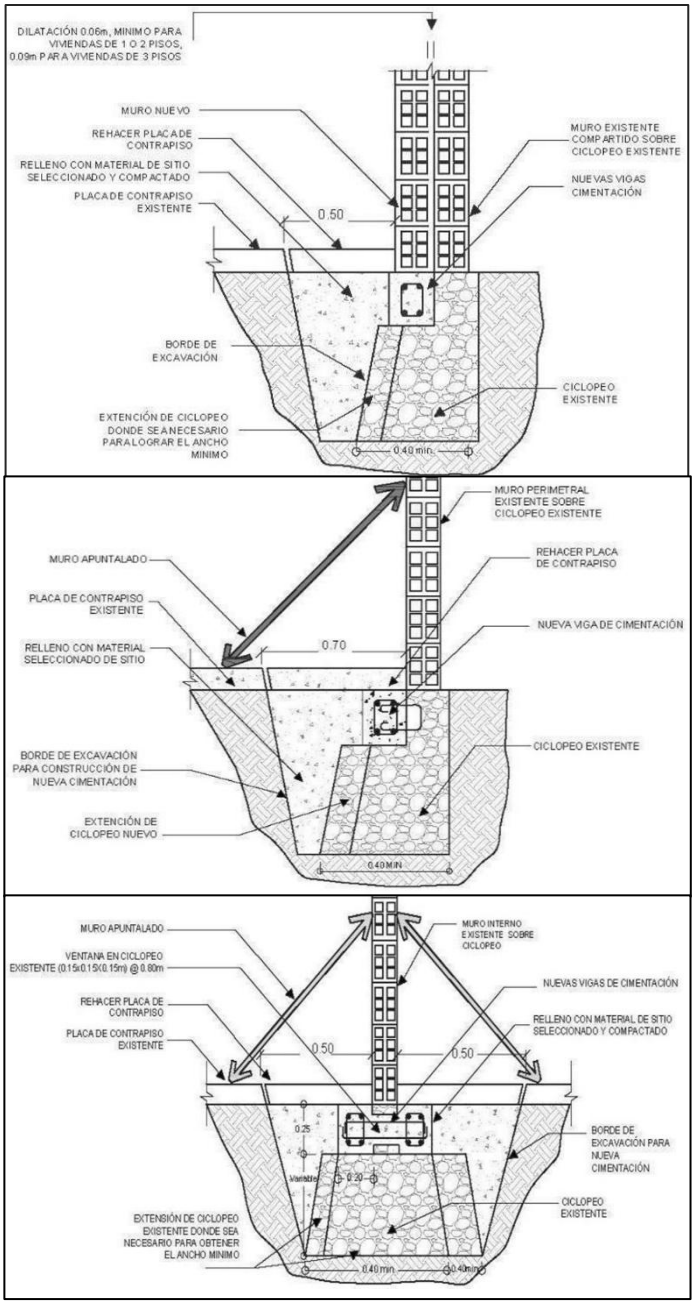


Figura 7. *Aplicación vigas de cimentación. Fuente: AIS 410-23*

3.4 Conexión de muro nuevo a losa existente

Para el caso de losa maciza

Criterios de intervención:

- El muro debe anclarse a la losa existente.
- Construir viga de amarre (vigueta de confinamiento) en la parte superior del muro.
- Si espacio < 8 cm → rellenar con concreto simple.

Procedimiento de anclaje:

- Realizar demoliciones localizadas en losa con un ancho de **15 cm** y con una Separación: cada **50 cm**
- Instalar ganchos de anclaje #2. Ver figura 8.

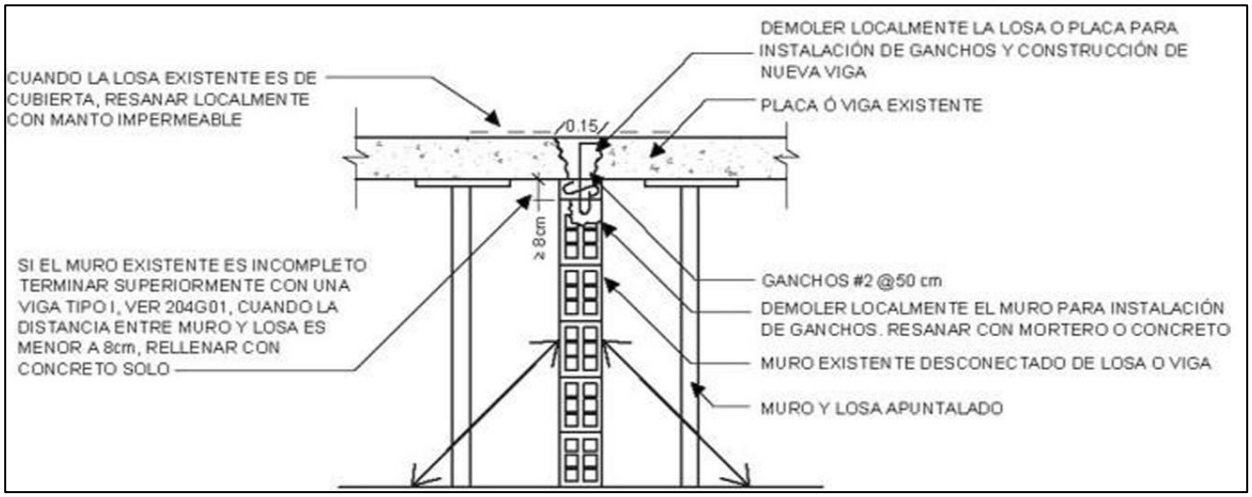


Figura 8. *Conexión de muro nuevo a losa Maciza existente. Fuente: AIS 410-23*

Para el caso de losa aligerada

Cuando el muro nuevo se ancla a una losa aligerada, existente dos variables encuentra perpendicular al sentido de las viguetas de la losa aligerada y cuando se encuentra paralelo bajo viguetas, en este caso cuando se encuentra perpendicular a viguetas de la losa se considera:

Criterios estructurales:

- Construir viga de amarre obligatoria.
- La viga actúa como viga carguera de viguetas.
- Peralte mínimo: **15 cm.**

Intervención en losa:

- Demoler aligerante (bloquelón/bloque) en el ancho de la viga.
- Garantizar contacto directo: Concreto de la viga ↔ loseta superior.
- Mejorar confinamiento de viguetas. Ver figura 9.

Procedimiento constructivo:

- Realizar demoliciones localizadas en la losa.
- Vaciado del concreto desde la parte superior.
- Asegurar correcta integración viga–losa. Ver figura 9.

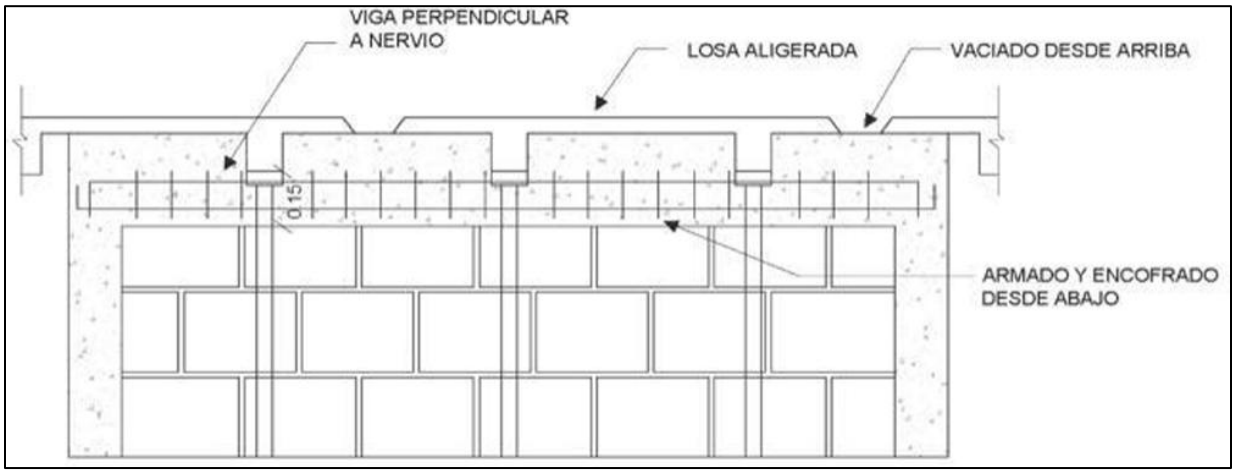


Figura 9. *Conexión de muro nuevo perpendicular a viguetas de losa aligerada existente. Fuente: AIS 410-23*

Cuando el muro nuevo de mampostería se encuentra paralelo a las viguetas de una losa aligerada, en este caso los parámetros a tener en cuenta son:

<u>Criterios estructurales:</u>

- Construir viga de amarre.
- No requiere ganchos de anclaje.
- Garantizar transmisión de cargas losa → muro.

<u>Intervención en losa:</u>

- Demoler aligerante en todo el ancho de la viga a lo largo del muro.
- Asegurar contacto directo concreto–concreto.

<u>Procedimiento constructivo:</u>

- Realizar demoliciones parciales de 10 cm de diámetro con una Separación: cada 80 cm
- Vaciado del concreto desde la parte superior.

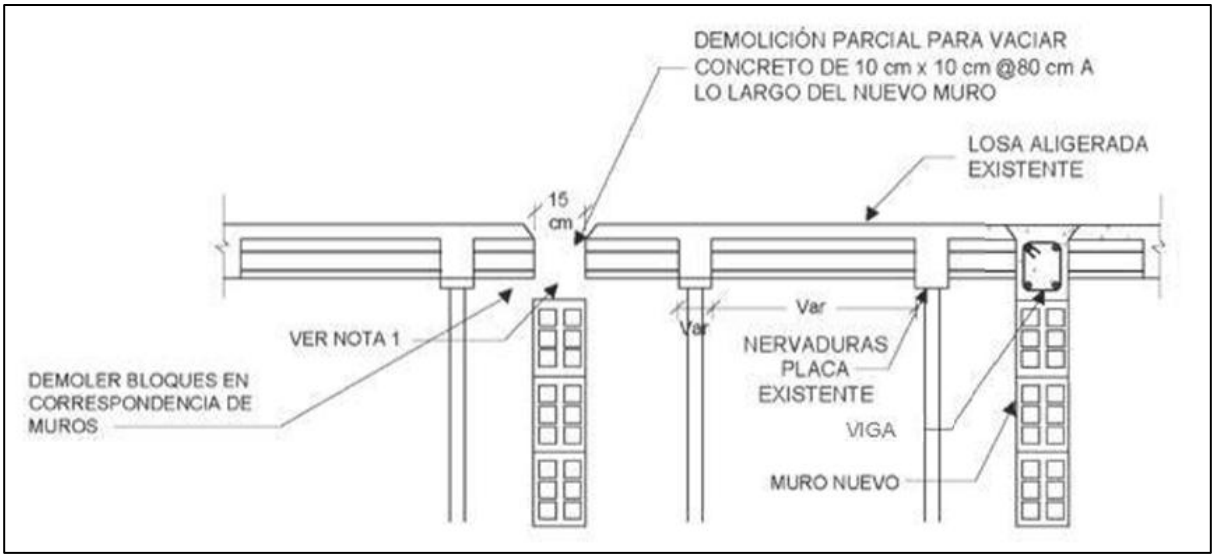


Figura 10. *Conexión de muro nuevo paralelo a viguetas de losa aligerada existente. Fuente: AIS 410-23*

Otro caso que se presenta cuando el muro nuevo de mampostería se encuentra paralelo a las viguetas es que dicho muro coincide con una vigueta de la losa, en este caso el sistema de anclaje de muro nuevo con la losa aligerada se observa en la figura 11.

Criterios estructurales:

- Construir viga de amarre ancha.
- La viga coincide con el nervio existente.
- Garantizar transferencia de cargas losa → muro.

Refuerzo y anclaje:

- Instalar anclajes en varilla **#2.**
- Separación: cada **80 cm**.

Intervención en losa:

- Remover bloques/aligerante parcialmente.
- Realizar demoliciones localizadas (**15×15 cm @80 cm**).
- Asegurar contacto directo concreto–concreto.

Procedimiento constructivo:

- Es importante resaltar que el peralte mínimo de la viga en este caso debe ser de **10cm**, el acero longitudinal de la viga se recomienda utilizar mínimo **4** varillas **#3** y estribos **#2** a cada 15cm, los ganchos que quedan anclados a la loseta superior son de varilla **#2**. Ver figura 11.
- Con relación al vaciado de concreto se debe realizar por la parte superior de la loseta de concreto usando las ventanas demolidas previamente para anclar la viga a la loseta y para el correcto vaciado de la viga, para que quede adherida uniformemente a la vigueta existente.
- Para todos los casos, la mezcla de concreto utilizada debe ser fluida para que no se generen cangrejeras o quede el acero expuesto.

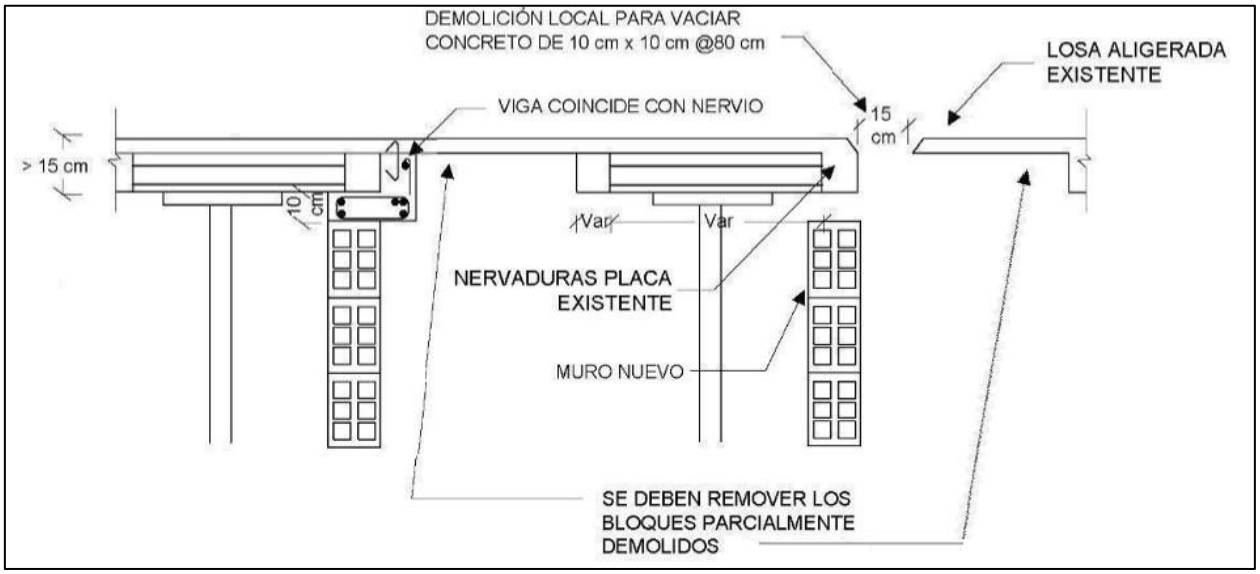


Figura 11. *Conexión de muro nuevo paralelo bajo vigueta de losa aligerada existente. Fuente: AIS 410-23*

4. Técnicas de rehabilitación de lesiones en el concreto

Cuando las reparaciones en edificaciones de baja altura son leves, o se presentan por falencias o errores constructivos durante la ejecución de las obras, se consideran las siguientes técnicas más relevantes para dar solución a lesiones en muros de mampostería y concreto existente.

4.1 Reparación de muros de mampostería:

Cuando se presentan fallas localizadas por fisuraciones en muros de mampostería se generan en forma escalonada y en forma diagonal, tal como se aprecia en la figura 12.

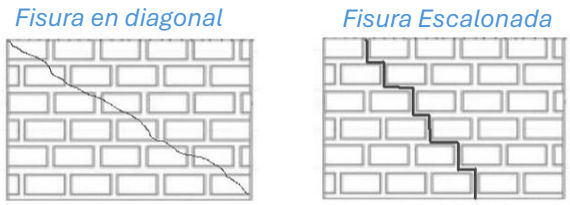


Figura 12. *Tipo de fisuras en muros de mampostería. Fuente: Giraldo J. & Mendez D. (2006).*

De acuerdo a la figura 12, las grietas por esfuerzo de corte en muros de mampostería pueden manifestarse de forma escalonada a través de las juntas del mortero o en diagonal atravesando los bloques, siendo un indicio claro de deficiencias estructurales. Estas patologías suelen estar asociadas a la ausencia o insuficiencia de armadura horizontal y/o vertical, a una deficiente adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería debido a baja calidad del mortero o mala ejecución constructiva, así como a la utilización de bloques de baja calidad, lo cual compromete la capacidad resistente del muro y su comportamiento ante cargas laterales.

Una alternativa para reparar un muro por fisuración corresponde al uso de grapas Ver figura 13. El método consiste en recuperar el estado monolítico y la adherencia del muro, proporcionando refuerzo local en grietas activas o estructurales.

Procedimiento:

- Picado en “V” a lo largo de la grieta (≈ **5×5 cm a 7×7 cm**).
- Ejecución de ranuras transversales a la grieta:
  - Dimensión: **≈ 40×5 cm**
  - Separación: **cada 50 cm**
- Limpieza de ranuras y superficies.
- Colocación de armaduras (grapas de acero) longitudinales y transversales, según diseño.
- Aplicación de lechada de adherencia.
- Relleno con mortero 1:3 con aditivo expansivo.
- Repetir en la cara opuesta, traslapando el grapado.

Esta técnica se conoce como cosido del muro, y ayuda a controlar la propagación de grietas y mejorar su resistencia.

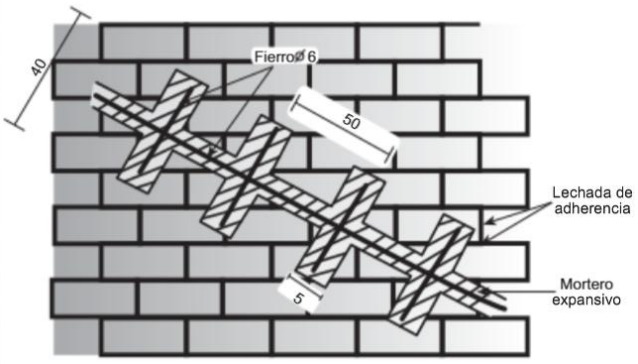


Figura 13. *Reparación de muros por grapado. Fuente: Smith J. (2010)*

4.2 Reparaciones en columnas

Para el caso de reparaciones en columnas se presentan cuando existentes cangrejeras en la columna, cuando presenta fisuras leves o cuando presenta perdida de concreto y exposición del acero de refuerzo, en este caso se recomienda el recalce del concreto, el cual consiste en retirar el concreto existente hasta destapar el acero de refuerzo expuesto y fundir nuevamente con una mezcla de concreto.

Procedimiento constructivo:

- Delimitar el área de intervención.
- Retirar completamente el concreto deteriorado hasta alcanzar material sano.
- Garantizar profundidad mínima = **10 cm**.
- Perfilar bordes con geometría regular (evitar bordes débiles).
- Limpiar la superficie.

Tratamiento del acero:

- Exponer armaduras existentes.
- Eliminar corrosión (mecánica o química).
- Aplicar protección anticorrosiva (SIKA FERROGARD o similar**)**.
- Aplicar puente de adherencia epóxico. Usando Sikadur 32.
- Garantizar superficie limpia, rugosa y saturada superficialmente seca (SSD).

Encofrado:

- Instalar encofrado estanco con sistema de vaciado (buzón o embudo). Ver figura 14.
- Sellar juntas para evitar fugas.

Colocación del concreto/mortero:

- Utilizar concreto o Grout con: Resistencia ≥ concreto existente.
  Dosificación mínima = **340 kg/m^3** de cemento.
  Tamaño máximo de agregado acorde a espesores (< **20 mm**).
- Incorporar aditivos:
  Se recomienda el uso de SikaTop 122 mortero de reparación (mejora adherencia y durabilidad).
- Vaciar de forma continua.
- Compactar con vibrador o varillado.

Desencofrado y acabado:

- Retirar encofrado lateral ≥ **24** horas.
- Fondo: entre **3** y **7** días según condiciones.
- Eliminar rebabas y regularizar superficie.
- Realizar curado húmedo mínimo **7** días.

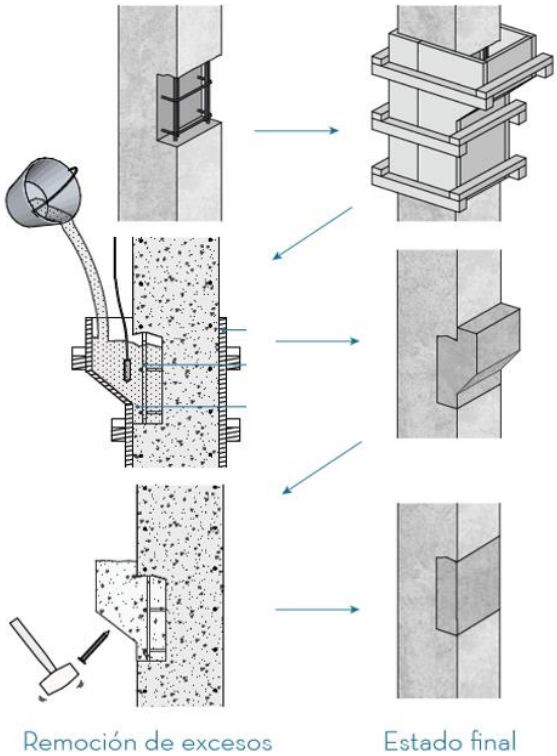


Figura 14. *Reparación de concreto en columnas.*
Fuente: Garzón J. & Landin M. (2017)

Verificación en obra:

- Verificar que la superficie esté libre de polvo, grasa o partículas sueltas.
- Acero limpio y protegido contra corrosión.
- Correcta instalación del encofrado (sin fugas).
- Llenado completo sin vacíos.
- Compactación adecuada.
- Curado efectivo.

Recomendaciones técnicas:

- No intervenir sobre concreto estructuralmente deficiente sin rediseño.
- Evitar juntas frías en el vaciado.
- Garantizar compatibilidad entre materiales nuevos y existentes.
- Controlar retracción con aditivos expansivos.
- Supervisión técnica permanente durante el proceso.

4.3 Reparaciones en Vigas

Procedimiento constructivo:

- Delimitar el área afectada.
- Retirar el concreto deteriorado hasta llegar a concreto sano.
- Chaflanar bordes y generar rugosidad.
- Limpiar superficie (agua a presión, aire o medios mecánicos).

Tratamiento del acero:

- Exponer armaduras.
- Eliminar corrosión (mecánica o química).
- Aplicar protección anticorrosiva (SIKA FERROGARD).
- Aplicar puente de adherencia epóxico.

Encofrado:

- Instalar encofrado estanco inferior y lateral.
- Disponer sistema de vaciado (embudo o buzón).

Colocación del concreto:

- Usar concreto o grout con:

  Resistencia ≥ existente.

  Dosificación ≥ **340 kg/m^3**. Tamaño máximo agregado < **20 mm**.

Desencofrado y acabado:

- Retirar encofrado lateral ≥ **24** horas.
- Mantener soporte inferior según criterio técnico (3–7 días o más).
- Eliminar rebabas y regularizar superficie. Ver figura 15
- Verificar alineación y geometría de la viga.

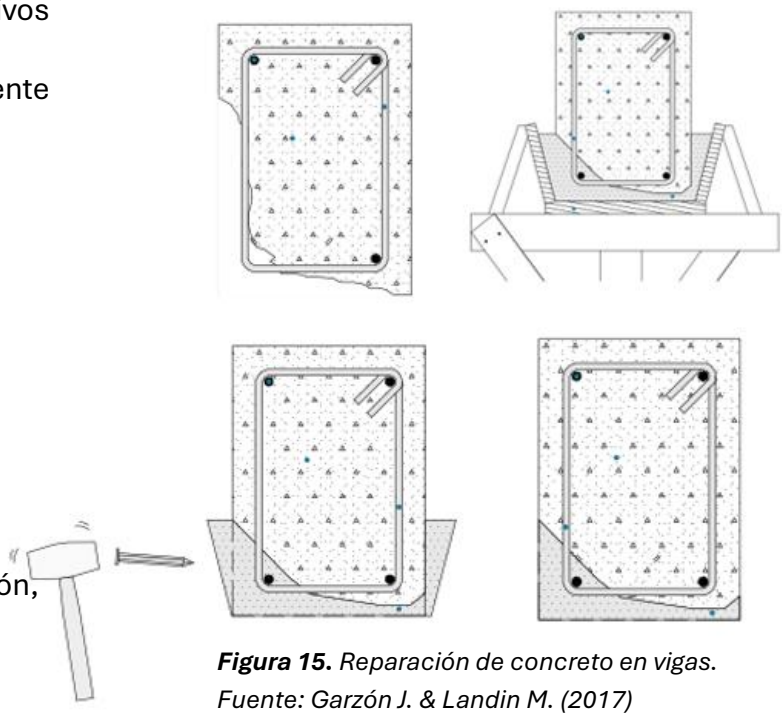


Figura 15. *Reparación de concreto en vigas.*
Fuente: Garzón J. & Landin M. (2017)

Verificación en obra:

- Eliminación total de concreto deteriorado.
- Acero limpio, protegido y correctamente anclado.
- Encofrado estanco y bien ajustado.

- Llenado completo sin vacíos.
- Compactación adecuada.
- Curado efectivo.
- Control de flecha y alineación de la viga.

Recomendaciones técnicas:

- Apuntalar la viga antes de intervenir si está en carga.
- Evitar juntas frías durante el vaciado.
- Garantizar compatibilidad entre concreto nuevo y existente.
- Controlar retracción con aditivos.
- Supervisión técnica permanente.

5. Seguimiento y Control

El seguimiento y control hace referencia a la supervisión en la ejecución de actividades en obra, el cual para este caso se relaciona con el control técnico de proyectos de reforzamiento estructural enfocado a edificaciones de baja altura de origen informal. Es importante mencionar que de acuerdo a la norma colombiana cuando los proyectos de reforzamiento no provienen de la ejecución de recursos públicos, en este caso cuando se habla del sector privado, la norma es muy amplia y solo exige la presencia de un supervisor independiente cuando:

- La edificación tiene más de 2.000 m2
- Edificaciones indispensables Grupo III y Grupo IV.
-Si en la licencia o diseño el ingeniero estructural lo indica. (NSR-10, Título I, Literal 4.1.1.9)

En este orden de ideas teniendo en cuenta que las técnicas de reforzamiento están enfocadas a edificaciones de baja altura, en donde la norma NSR-10, no obliga a una supervisión técnica, debido al área de intervención < 2.000m2, en este caso se recomienda el uso de la siguiente lista de chequeo que recopila toda la información y parámetros de verificación, teniendo en cuenta el documento AIS 410-23, la norma NSR-10 y el aporte de Autores.

Con relación a las listas de chequeo propuestas se relacionan a 3 listas que cuadros así:

Cuadro 1. *Lista de chequeo para el reforzamiento de edificaciones de baja altura,* el cual relaciona los parámetros recopilados del documento AIS 410-23, modificado y adaptado por autores.

Cuadro 2. *Lista de chequeo según parámetros de la NSR-10,* en donde se relacionan los parámetros de los diferentes títulos de la NSR-10, que sirven de apoyo para la supervisión técnica en proyectos de reforzamiento estructural en edificaciones de baja altura.

Cuadro 3. *Lista de chequeo según métodos de reforzamiento,* en donde se relacionan los parámetros de verificación de los métodos recomendados por el documento AIS 410-23.

Cuadro 1. *Lista de chequeo para el reforzamiento de edificaciones de baja altura*

Ítem	Descripción, verificación	Notas de Evaluación	Medidas de Intervención	Estado de Intervención
1	**CARACTERIZACIÓN DEL SITIO**			
1.1	LICUACIÓN: La vivienda no está ubicada en suelos sueltos, granulares, saturados o materiales potencialmente licuables en los suelos de cimentación.			C / NC / N/A
1.2	DESLIZAMIENTOS: Zona de amenaza baja. Pendiente del talud <18%. Alternativamente: Pendiente __%, H=__ m, Distancia=__ m. Condiciones según porcentaje.			C / NC / N/A
1.3	AVENIDA TORRENCIAL O INUNDACIÓN INDUCIDA POR SISMO: No hay fuentes como presas, acueductos, tanques. No está en zonas costeras o cercanas a cuerpos de agua.			C / NC / N/A
1.4	INUNDACIONES: No está en zona de exclusión por inundación según mapas locales.			C / NC / N/A
1.5	VOLCANES: No está en zona de exclusión volcánica según mapas locales.			C / NC / N/A
1.6	ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN: Identifique uno o varios de los tipos de muros de contención presentes en la vivienda: Muro de contención de sitio: • Si son de gravedad, no superan 2.0 m de altura. • Cuentan con perforaciones de drenaje. • Están en buenas condiciones, sin asentamientos ni agrietamientos. Muro de contención de cimentación: • Si son de mampostería, no superan 1.6 m de altura. • Cuentan con drenaje. • Sin desplomes ni daños. Muro de contención integrado: • Nivel retenido ≤ 2.4 m. • Con drenaje o sin humedad superficial. • Buen estado estructural.			C / NC / N/A

Ítem	Descripción, verificación	Notas de Evaluación	Medidas de Intervención	Estado de Intervención
2	**ASPECTOS RELACIONADOS A LA CONFIGURACIÓN**			
2.1	VOLCAMIENTO: La altura total de la vivienda (H) es inferior a 3 veces la menor dimensión horizontal en planta (W). H = ___ m W = ___ m H/W = ___			C / NC / N/A
2.2	IRREGULARIDADES EN PLANTA: La vivienda tiene una forma regular en planta.			C / NC / N/A
2.3	NÚMERO DE NIVELES: Máximo 3 niveles (zona baja/intermedia) o 2 niveles (zona alta).			C / NC / N/A
2.4	ALTURA LIBRE: Para mampostería confinada: ≤ 25 veces el espesor del muro. Para mampostería no reforzada: según Tabla 6.3-2 NSR-10.			C / NC / N/A
3	**ELEMENTOS ESTRUCTURALES**			
3.1	Cimientos: Daño clasificado como ninguno (<0.2mm), leve (0.2–1mm), moderado (1–3mm), fuerte (>3mm), severo (desprendimientos).			C / NC / N/A
3.2	Muros perimetrales: Continuidad ≥15% o ≥1.5m, excentricidad <15%, continuidad vertical completa.			C / NC / N/A
3.3	Muros internos: Separación ≤4m, continuidad vertical, traslapos adecuados, espesores mínimos (MNR 110/95 mm, MC 110 mm).			C / NC / N/A
3.4	Viga de amarre: Continua, sin acero expuesto, sin hormigueros, grietas <0.5mm, sin corrosión, sección ≥20,000 mm^2.			C / NC / N/A
3.5	Voladizos: Longitud ≤600mm, buen anclaje, sin deformaciones.			C / NC / N/A
3.6	Columnas de confinamiento: Sin fisuras, sin corrosión, presentes en esquinas e intersecciones.			C / NC / N/A
3.7	Aberturas en muros: Dinteles en aberturas >500mm, apoyo ≥200mm, sin grietas en esquinas.			C / NC / N/A

Ítem	Descripción, verificación	Notas de Evaluación	Medidas de Intervención	Estado de Intervención
3.8	Aberturas en losas: ≤25% longitud, ≤2.5m, con viga de borde.			C / NC / N/A
3.9	Columnas aisladas: Dimensión ≥250mm o 300mm, no expuestas, sin fisuras.			C / NC / N/A
3.10	Sistemas de losa: Tipos (maciza, aligerada, prefabricada, colaborante), sin grietas >0.5mm, sin humedad.			C / NC / N/A
3.11	Sistemas de techo: Liviano bien anclado, teja barro soportada, losa sin fisuras, con viga de amarre.			C / NC / N/A
4	**ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**			
4.1	Escaleras: Conectadas, no dependientes del sistema sísmico, apoyadas correctamente, sin defectos.			C / NC / N/A
4.2	Parapetos: Bien adheridos, relación altura/espesor ≤1.5.			C / NC / N/A
5	**ASPECTOS RELACIONADOS A LA CALIDAD**			
5.1	Unidades de mampostería: Sin desportillamiento, sin humedad, sin mezcla de materiales.			C / NC / N/A
5.2	Mortero: Juntas homogéneas (~10mm), buena adherencia.			C / NC / N/A
5.3	Revoques: Uniformes, adheridos, sin fisuras.			C / NC / N/A

Cuadro 2. *Lista de chequeo según parámetros de la NSR-10*

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Parámetro verificable en obra	Respaldo Normativo NSR-10	Estado (C/NC/NA)	Observación Recomendación
1	Evaluación previa de la edificación existente	Antes de intervenir, debe definirse si la actuación corresponde a reparación menor, cambio de uso, vulnerabilidad sísmica, modificación o reparación post-sismo.	Debe existir informe o diagnóstico estructural previo a la intervención.	A.10.1.3.1, A.10.1.3.2, A.10.1.3.3, A.10.1.3.4, A.10.1.3.6	C | NC | NA	
2	Supervisión técnica del proyecto	Verificar si el proyecto requiere supervisión técnica independiente o exigida por el diseñador.	Aplica si el área construida es mayor a 2000 m^2, si pertenece a grupo de uso III o IV, o si el diseñador la exige.	A.1.3.9, A.1.3.9.1, A.1.3.9.2, A.1.3.9.3	C | NC | NA	
3	Identificación del sistema estructural existente	El refuerzo debe ser compatible con el sistema resistente de la edificación.	Debe identificarse si la estructura es de muros de carga, sistema combinado, pórtico resistente a momentos o sistema dual.	A.3.2.1.1, A.3.2.1.2, A.3.2.1.3, A.3.2.1.4	C | NC | NA	
4	Verificación de cargas muertas	El análisis del refuerzo debe considerar acabados, particiones y sobrecargas permanentes.	Verificar en planos cargas de Fachadas y particiones en mampostería: **3.0 kN/m^2**; particiones livianas: **2.0 kN/m^2**; afinado de piso y cubierta: **1.6 kN/m^2**.	B.3.4.3	C | NC | NA	
5	Verificación de cargas vivas	El refuerzo debe responder al uso real de la edificación.	Verificar en obra que los planos estructurales contengan las cargas utilizadas en el diseño Balcones: **5.0 kN/m^2**; cuartos privados:**1.8kN/m^2** escaleras:**3.0kN/m^2**.	B.4.2.1	C | NC | NA	
6	Registros de supervisión técnica en concreto	En obra deben existir controles y registros del proceso constructivo del refuerzo.	Verificar registros de: ensayos del concreto, colocación del acero, encofrados, curado, anclajes, secuencia constructiva y avance de obra.	C.1.3.2 literales (a) a (h)	C | NC | NA	

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Parámetro verificable en obra	Respaldo Normativo NSR-10	Estado (C/NC/NA)	Observación Recomendación
7	Tamaño máximo del agregado	El agregado debe permitir buena colocación y vibrado del concreto en zonas reforzadas.	Tamaño máximo nominal ≤ **1/5** de la menor dimensión del encofrado, ≤ **1/3** del espesor de la losa y ≤ **3/4** del espaciamiento libre entre barras.	C.3.3.2 literales (a), (b), (c)	C | NC | NA	
8	Separación entre barras longitudinales	Se busca garantizar vaciado, adherencia y correcto comportamiento del elemento.	Separación libre entre barras paralelas ≥ **db** y nunca menor de **25 mm**. (db: Longitud de desarrollo)	C.7.6.1	C | NC | NA	
9	Recubrimiento del refuerzo	Protege el acero contra corrosión y fuego, y mejora adherencia.	Contra el suelo: **75 mm**. Expuesto a intemperie: **50 mm** para barras No. 6 a No. 18 y **40 mm** para No. 5 y menores. Interior: losas, muros y viguetas **20 mm** para No.11 y menores y **40 mm** para No.14 a No.18; vigas y columnas **40 mm**.	C.7.7	C | NC | NA	
10	Módulo de elasticidad del concreto	Debe ser compatible con el valor usado en diseño, especialmente en encamisados o recrecidos.	Revisar que el proveedor entregue diseño de mezcla acorde al **Ec** considerado en planos y memorias. Expresión general: **$Ec = 4700\sqrt{f'c}$** para concreto normal, salvo ajuste por tipo de agregado.	C.8.5, CR.8.5.1	C | NC | NA	
11	Geometría de viguetas en losas nervadas	En viviendas de baja altura es común este sistema; su geometría afecta rigidez y seguridad.	Ancho superior ≥ **100 mm**; ancho promedio ≥ **80 mm**; altura ≤ **5 veces** el ancho promedio.	C.8.13.2	C | NC | NA	
12	Separación y luz de viguetas	Controla deformaciones y comportamiento de la losa.	Separación entre ejes ≤ **1.20 m** y ≤ **2.5** veces el espesor total. Luz libre ≤ **4.0 m** y ≤ **10** veces el espesor total.	C.8.13.3, C.8.13.3.1	C | NC | NA	

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Parámetro verificable en obra	Respaldo Normativo NSR-10	Estado (C/NC/NA)	Observación Recomendación
13	Espesor de capa superior en losas aligeradas	Garantiza comportamiento monolítico y distribución de cargas.	Con aligerantes permanentes: espesor ≥ **45 mm** y no menor que **1/20** de la distancia libre entre viguetas. Con aligerantes removibles: espesor ≥ **50 mm** y no menor que **1/12** de la distancia libre.	C.8.13.5.2, C.8.13.6.1	C | NC | NA	
14	Peralte mínimo de vigas para control de deflexión	Permite verificar rápidamente si la viga puede presentar deformaciones excesivas.	Con muros o particiones frágiles: vigas o losas nervadas simplemente apoyadas ≥ **L/11**, un extremo continuo ≥ **L/12**, ambos extremos continuos ≥ **L/14**, voladizo ≥ **L/5**. Sin particiones frágiles: **L/16**, **L/18.5**, **L/21**, **L/8**.	C.9.5.2.1, CR.9.5.2.1	C | NC | NA	
15	Refuerzo a cortante en vigas o elementos encamisados	En obra debe verificarse que el estribado no quede abierto ni demasiado separado.	Separación de estribos **s ≤ d/2** como verificación rápida de control.	C.11.4	C | NC | NA	
16	Longitud de desarrollo de barras a tracción	Garantiza que la barra alcance su resistencia sin deslizarse.	Para inspección rápida en baja altura, en condiciones favorables. fy=420 MPa f'c=21 MPa #3 = **41.6 cm** #4 = **55.4 cm** #5 = **69.3 cm** #6 = **83.1 cm**	C.12.2.2	C | NC | NA	
17	Desarrollo de ganchos estándar en tracción	Se usa cuando no hay longitud recta suficiente, especialmente en nodos viga-columna.	No menor que **8db** ni menor que **150 mm**. Valores guía: f'c= 21 MPa #3 = **20.96 cm** #4 = **27.94 cm** #5 = **34.93 cm** #6 = **41.90 cm**	C.12.5.1, C.12.5.2, C.12.5.3	C | NC | NA	

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Parámetro verificable en obra	Respaldo Normativo NSR-10	Estado (C/NC/NA)	Observación Recomendación
18	Reducción permitida de gancho estándar	Algunos ganchos pueden reducirse si existe confinamiento adecuado.	Para ganchos a 90° con recubrimiento lateral ≥ **65 mm** y extensión recta ≥ **50 mm**, puede multiplicarse por **0.7**. También aplica reducción con estribos de confinamiento a espaciamiento ≤ **3db**.	C.12.5.3	C | NC | NA	
19	Empalmes por traslapo en tracción	El empalme debe permitir transmisión adecuada de esfuerzos.	Traslapo Clase A = **1.0 ld**; Clase B = **1.3 ld**, pero nunca menor de **300 mm**. En inspección rápida, normalmente se usa Clase B.	C.12.15.1, C.12.15.2	C | NC | NA	
20	Empalmes en compresión	También deben verificarse cuando se prolongan barras de columnas o elementos verticales.	Para fy ≤ 420 MPa: longitud de empalme en compresión = **0.071 fy db**.	C.12.16.1	C | NC | NA	
21	Empalmes dentro del nudo	En zonas sísmicas es un punto crítico de revisión.	**No se permiten empalmes por traslapo dentro de los nudos**.	C.21.3.4.5	C | NC | NA	
22	Ancho mínimo de vigas en zona sísmica intermedia	Es una verificación geométrica básica en vigas principales del sistema.	En DMO, el ancho bw de la viga no debe ser menor de **200 mm**.	C.21.3.4.1	C | NC | NA	
23	Mampostería reforzada externamente	Útil cuando el refuerzo se hace con malla y mortero sobre muros existentes.	Espesor total del muro ≥ **130 mm**; cuantía vertical mínima **0.00035**; cuantía horizontal mínima **0.00035**; espaciamiento de malla ≤ **300 mm**; anclaje mínimo **9 clavos/m^2** de diámetro mínimo **3 mm**, con cabeza saliendo al menos **10 mm**.	D.12.1.3, D.12.3.2, D.12.3.2.1, D.12.3.3	C | NC | NA	

Cuadro 2.1. *Chequeo preliminar para análisis de reforzamiento estructural según la NSR-10*

Ítem	Criterio de verificación	Descripción	Respaldo Normativo NSR-10	Criterio de cumplimiento/ Recomendación	Cumple Si/No
1	Evaluación de cargas y uso de la edificación existente	Al tratarse de edificaciones existentes para considerar un análisis del sistema estructural, inicialmente se deben conocer las cargas aplicadas a la estructura y el uso ocupacional de la misma.	A.2.5.1 B.3 B.4	Definir correctamente las cargas reales de la estructura y el tipo de uso de la estructura si es tipo I, II, III y IV.	
2	Zona de amenaza sísmica	Establecer los parámetros según la zona de amenaza sísmica de acuerdo a los lineamientos normativos de la NSR-10, para conocer los periodos de vibración de la estructura de acuerdo a los picos de aceleración establecidos por la norma y a la altura de la edificación.	A.2.3. A.2.6	Definir el espectro de aceleraciones de diseño y los periodos de vibración de la estructura [Aproximado (Ta) y Máximo (CuTa), en donde se debe cumplir que: CuTa > Ta	
3	Modulo de elasticidad del concreto	Al tratarse de edificaciones existentes es de suma importancia conocer el modulo de elasticidad real del concreto implementado en obra, es cual es un dato fundamental para efectos de análisis de modelación estructural.	C.8.5 C.5.6.5.3	Para un análisis estructural se requiere fundamentalmente hacer pruebas de extracción de núcleos en elementos estructurales existentes, se recomienda como mínimo una prueba por elemento estructural (viga-columna-cimentación)	
4	Metodo de análisis Estructural	En edificaciones existentes para hacer un chequeo preliminar de las condiciones de deriva de la edificación se puede utilizar el método de análisis dinámico elástico. Para el caso de un análisis mas completo sobre una edificación existente se recomienda el método de análisis no lineal estático de plastificación progresiva, más conocido como procedimiento push-over, el cual permite evaluar la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico de la estructura.	A.3.4.2.2 A.3.4.2.4 A.6.4	Verificar el uso de un software de modelación estructural de elementos finitos en el que se recomiendan ETABS o SAP2000. Verificar el chequeo de derivas máximas permisibles	

Nota: Los parámetros establecidos en la tabla 2.1 solo representan una verificación preliminar para el análisis estructural según la NSR-10, no obstante, se recomiendan estudios de vulnerabilidad estructural en una edificación existente realizados por un especialista en el área, antes de sugerir cualquier sistema de reforzamiento.

Cuadro 3. *Lista de chequeo según métodos de reforzamiento*

Ítem	Criterio	Explicación	Parámetro en obra	Error frecuente	Aceptación Cumple/No Cumple	Observación Recomendación
1.	**PAÑETE REFORZADO EN MUROS DE MAMPOSTERÍA**					
1.1	Viabilidad del método	Aplica solo para muros bajos y condiciones controladas	Altura muro ≤ **1.8m** y longitud ≤ **4.0 m**	Aplicarlo en muros altos		
1.2	Espesor del pañete reforzado	Define capacidad de refuerzo del sistema	Espesor mínimo: **3cm**	Espesor insuficiente		
1.3	Tipo de malla electrosoldada	Refuerzo principal del sistema	Malla típica: **4 mm @150–200 mm** o **5 mm @150 mm**	Malla muy liviana		
1.4	Configuración según altura del suelo	Ajuste del refuerzo según empuje	Depende de H y L (tabla 16)	No usar tabla de diseño		
1.5	Uso de viga de amarre	Garantiza confinamiento del muro	Se debe construir si no existe	No confinar el muro		
1.6	Uso de columnetas	Para muros más altos o largos	Altura hasta **2.4 m** con columnetas	No incluir columnetas		
1.7	Dimensiones de columnetas	Aportan rigidez al sistema	Sección mínima **100x300 mm o 100x400 mm**	Columnetas pequeñas		
1.8	Refuerzo en columnetas	Asegura capacidad estructural	3 o 4 barras #3	Acero insuficiente		
1.9	Ubicación de columnetas	Controla distribución de esfuerzos	1 columna en L/2 o 2 simétricas	Mala ubicación		
1.1	Anclaje de malla al muro	Garantiza adherencia del sistema	Barras en “L” @ **450 mm**	Malla sin anclaje		
2.	**REFORZAMIENTO DE MUROS CONFINADOS**					
2.1	Existencia de confinamiento	Mejora comportamiento sísmico	Muros deben tener vigas y columnas de amarre	Muros sin confinamiento		
2.2	Continuidad estructural	Evita fallas por discontinuidad	Muros conectados a losas y vigas	Muros aislados		

Ítem	Criterio	Explicación	Parámetro en obra	Error frecuente	Aceptación Cumple/No Cumple	Observación Recomendación
2.3	Aberturas en muros	Afectan resistencia sísmica	Evitar grandes aberturas sin refuerzo	Ventanas excesivas		
2.4	Relación área de muros	Control de capacidad sísmica	Cumplir PAM (porcentaje área muros)	Déficit de muros		
2.5	Verticalidad y alineación	Influye en estabilidad global	Muros sin desplomes visibles	Muros inclinados		
3.	**INTERVENCIÓN EN CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL**					
3.1	Regularidad en planta	Reduce torsión sísmica	Evitar formas irregulares	Planta irregular		
3.2	Número de niveles	Limita aplicabilidad del método	Viviendas ≤ 3 pisos	Exceder niveles		
3.3	Altura libre	Influye en rigidez	Alturas uniformes	Pisos muy altos		
3.4	Volcamiento	Controla estabilidad global	Relación altura/base adecuada	Edificaciones esbeltas		
4.	**CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES (AIS)**					
4.1	Unidades de mampostería	Determinan resistencia global	Bloques sin fisuras ni baja calidad	Bloques deteriorados		
4.2	Mortero de pega	Asegura adherencia	Mortero homogéneo y resistente	Mortero débil		
4.3	Pañete (revoque)	Parte del sistema reforzado	Buen adherido al muro	Desprendimiento		
5.	**PROCESO CONSTRUCTIVO DEL REFORZAMIENTO**					
5.1	Preparación del muro	Garantiza adherencia del refuerzo	Limpieza + rugosidad superficial	No preparar superficie		
5.2	Instalación de malla	Refuerzo principal del sistema	Malla bien tensada y fijada	Malla suelta		
5.3	Colocación del mortero	Define comportamiento final	Espesor uniforme ≥ 3 cm	Espesor irregular		
5.4	Curado	Evita fisuración	Curado mínimo 7 días	No curar		
5.5	Secuencia constructiva	Evita sobrecargas prematuras	Aplicación progresiva del refuerzo	Aplicación desordenada		
6.	**INSPECCIÓN Y VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS METALICOS Y CONEXIONES**					
6.1	Preparación de superficies	Garantiza adherencia y calidad de unión	Superficies limpias sin óxido, grasa o pintura	Soldar sobre superficies contaminadas		

Ítem	Criterio	Explicación	Parámetro en obra	Error frecuente	Aceptación Cumple/No Cumple	Observación Recomendación
62	Compatibilidad del sistema	Elementos deben coincidir con diseño	Platinas y perfiles según planos	Elementos incorrectos		
6.3	Calificación del personal	Asegura calidad de ejecución	Soldadores certificados	Personal no certificado		
6.4	Materiales	Control de insumos	Electrodos secos y certificados	Electrodos húmedos		
6.5	Precalentamiento	Evita fisuras	Aplicar cuando se requiera	No precalentar		
6.6	Ejecución	Calidad del cordón	Cordones continuos y uniformes	Cordones defectuosos		
6.7	Inspección final	Control de calidad	Sin fisuras ni porosidad	Aceptar defectos		
6.8	Dimensiones	Cumplimiento diseño	Tamaño y longitud adecuados	Cordón insuficiente		
6.9	Protección	Durabilidad	Pintura anticorrosiva	No proteger		
6.10	Recepción	Control documental	Certificado de fábrica	Sin certificado		
6.11	Geometría	Compatibilidad	Diámetro y longitud correctos	Dimensión incorrecta		
6.12	Almacenamiento	Evita deterioro	Protección contra humedad	Oxidación		
6.13	Perforaciones	Correcta instalación	Diámetro y limpieza adecuada	Perforación sucia		
6.14	Montaje	Alineación del sistema	Elementos alineados	Desalineación		
6.15	Pretensionamiento	Resistencia de unión	Uso de torquímetro	Torque incorrecto		
6.16	Secuencia	Evita fallas	Apriete progresivo	Apriete aleatorio		
6.17	Inspección final	Control de calidad	Sin holguras	Pernos flojos		
6.18	Protección	Durabilidad	Protección anticorrosiva	Sin protección		
6.19	Preparación de superficies	Garantiza adherencia y calidad de unión	Superficies limpias sin óxido, grasa o pintura	Soldar sobre superficies sucia		
6.20	Compatibilidad del sistema	Elementos deben coincidir con diseño	Platinas y perfiles según planos	Elementos incorrectos		

7. Conclusiones

La finalidad de la guía metodológica propuesta, representa una herramienta practica a la hora de proponer o supervisar la ejecución de cualquiera de los métodos de reforzamiento planteados, ya que muchos de los criterios tienen fundamento normativo y recomendaciones proveniente de la experiencia de expertos.

A pesar de que la guía va dirigida a la supervisión de proyectos de reforzamiento es importante resaltar la importancia de mencionar los parámetros de diagnostico para determinar la viabilidad de proponer o no uno de los métodos de reforzamiento planteados en la presente guía, pues sin extralimitarse de las funciones de un profesional a un diseñador estructural, la guía no representa la figura de diseño estructural, pues cualquier variable o eventualidad que cambie las condiciones mostradas en los métodos propuestos, se recomienda antes de proponer un método de reforzamiento, realizar el debido análisis estructural de la edificación, determinando el refuerzo existente con instrumentos de medición, haciendo el debido levantamiento de elementos estructurales y tomando muestras de cilindros de concreto para conocer la resistencia de los elementos existentes. Con esta información realizar el debido modelamiento estructural de la edificación con las debidas condiciones sísmicas de la zona utilizando algún programa de elementos finitos y así verificar el chequeo de derivas y el cumplimiento de la resistencia de los elementos estructurales.

8. Recomendaciones

Importante: Cuando se determine la resistencia de elementos de concreto usando un esclerómetro, es importante tener en cuenta que esta resistencia es un dato preliminar que no determina la resistencia del concreto del elemento ensayado, por lo que, si se van a hacer los estudios de diseño estructural para un reforzamiento, obligatoriamente se sugiere hacer extracción de núcleos de concreto, los cuales si validan la resistencia real del elemento estructural existente.

Se recomienda el uso de esclerómetros para el ensayo de resistencia del concreto en campo, siempre y cuando se utilice para identificar puntos dentro de un elemento estructural que arroje resultados diferentes al promedio de los resultados de los elementos ensayados, lo que significa que básicamente el uso de un esclerómetro es un indicador para saber si el concreto utilizado en un elemento estructural conserva su uniformidad o varia según el día de fundición de la mezcla o cambio de materiales entre otros.

Cuando el reforzamiento de una estructura cuenta con un diseño estructural previamente establecido que define claramente las obras a realizar, se recomienda verificar en planos estructurales la resistencia de los materiales utilizados en el calculo y el modulo de elasticidad del concreto usado por el diseñador, para verificar en obra que la mezcla de concreto cumpla con la resistencia y el modulo de elasticidad con los cuales fue diseñado. En este orden de ideas el modulo de elasticidad es valor que depende del agregado grueso del material, por lo que se debe verificar antes de comenzar la ejecución de actividades, el establecimiento de estos parámetros de acuerdo a la disponibilidad de materiales en la zona en donde se ubique la edificación.

RECOMENDACIÓN DE OBRA: Cuando se construyan elementos estructurales puesto sobre una losa de concreto pobre o sobre el suelo, se recomienda exigir al maestro de obra utilizar PANELAS DE SEPARACIÓN, las cuales deben ser fabricas en obra con las medidas precisas de recubrimiento establecido en planos estructurales, estas panelas pueden ser redondas o cuadradas y se introducen alambre negro cuando se están haciendo para que a la hora de usarlas se puedan amarrar al acero y así obtener un recubrimiento idóneo. Ver figura 18. Por lo general en la práctica difícilmente se fabrican estas panelas las cuales se utilizan no solo para estructuras pegadas al suelo si no también para cualquier elemento estructural que lleve acero y concreto.



Figura 16. *Panelas de recubrimiento de acero. Fuente: Kesner, K. (2016)*

9. Referencias

American Concrete Institute. (2016). ACI 562-16: The concrete repair code.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2023). AIS 410-23: Evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería. https://ddhhcolombia.org.co/wp-content/uploads/2023/08/2.1.-Anexo-tecnico-3.pdf

Colombia. Presidencia de la República. (2023, 25 de agosto). Decreto 1401 de 2023. Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Garzón, J., & Landin, M. (2017). Manual de técnicas para rehabilitación y reforzamiento en columnas y vigas de hormigón armado deterioradas por agentes mecánicos [Trabajo de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional.

Giraldo, J., & Méndez, D. (2006). Evaluación de vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería en estratos uno y dos según tipificación de la estructura [Trabajo de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional.

Helene, P., & Pereira, F. (2005). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón: Reparación, refuerzo y protección. CYTED. https://www.academia.edu/35945983/Libro_Rehabilitacion_de_Estructuras_Hormigon_Reparacion_Refuerzo

Kesner, K. (2016, diciembre 7). ACI 562-16: The concrete repair code [Presentación]. DVASE, CVM Engineers.

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. (2010).

Smith, J. (2010). Manual de técnicas de reparación y refuerzo para estructuras de hormigón armado y albañilería. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. https://ich.cl/documentos-ich/manual-de-tecnicas-de-reparacion-y-refuerzo/

Sika (2017). *Concreto reforzamiento de estructuras de concreto.* *https://col.sika.com/dms/getdocument.get/c5fbb55d-9240-3b09-9eee-edf695806345/Reforzamiento%20Estructuras%202017.pdf*

Trigos (2024). *Metodología Para El Reforzamiento Estructural No Invasivo De Viviendas Informales Que Incumplen El Titulo E NSR-10*. [Tesis de Posgrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional. https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/bitstream/handle/20.500.14167/5386/trabajo_grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zuluaga (2023). *Estudio de caso: supervisión técnica de obras en proyectos de reforzamiento estructural de edificaciones verticales basado en la experiencia en la obra LJCG*. [Trabajo de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/1d338e38-62f3-4d18-938c-ada027bfbd25/content