Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado

Estudiantes:

Diego Armando Corredor Salamanca
Nestor Raul Medina Castro
Giovanni Eugenio Guzmán Bermúdez
Yeyson Pulido Cepeda

Director del trabajo de grado:

Arq. MsC. Walter Mauricio Barreto Castillo

Universidad Santo Tomas
Facultad de Ingeniería
Maestría en patología de la construcción
Bogotá, Colombia
2025

Tabla de Contenido

Resumen 4
1. Introducción 6
2. Formulación del Problema 7
2.1. Formulación del problema 7
2.2. Delimitación del problema 7
3. Justificación 9
4. Objetivos 10
4.1. Objetivo General 10
4.2. Objetivos específicos 10
5. Marco Teórico 11
5.1. Evolución de Normas Sismo Resistentes Colombianas 11
5.2. Manuales de diseño y construcción sismo resistente en Colombia 12
6. Metodología 14
6.1. Revisión normativa y documental 14
6.2. Análisis de la consultoría No 2991 de 2021 14
6.3. Elaboración, edición y diseño del manual 15
6.4. Dirección y seguimiento académico 15
6.5. Estrategias de actualización 15
7. Resultados 16
7.1. Manual técnico de prevención, evaluación y rehabilitación 16
7.2. Descripción general del caso de estudio 20
7.3. Estudio de vulnerabilidad sísmico infraestructura existente (Contrato de Consultoría No. 2291 de 2021) 21
7.4. Estudios y diseños para la Construcción de la unidad residencial Torres del Silencio (Contrato de Consultoría No. 152 de 2023) 23
7.5. Análisis de las principales deficiencias, daños y lesiones encontradas en el proyecto residencial Torres del Silencio. 24
7.6. Opciones de mejora frente al Diseño Arquitectónico 24
7.7. Observaciones frente al diseño estructural inicial 28
7.8. Recomendaciones sobre la evaluación integral de los diseños 30
7.9. Control de calidad de los materiales 30
7.10. Uso adecuado y mantenimiento de formaletas metálicas manoportables. 32
7.11. Recomendaciones sobre la correcta instalación del acero de refuerzo 33
7.12. Recomendaciones sobre la importancia del seguimiento técnico, interventoría y supervisión de las obras 34
7.13. Recomendaciones frente a otro tipo de lesiones 35
8. Discusión de los resultados 36
9. Conclusiones y Recomendaciones 38
10. Referencias 39

Lista de Figuras

Figura 1. *Portada del Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural muros de carga en concreto reforzado*..... 16
Figura 2. *Vista aérea del proyecto. Fuente (DICO, 2022)* 21
Figura 3. *Distribución arquitectónica inicial. Fuente: Contrato de consultoría 2991 de 2021.*.. 25
Figura 4. *Distribución arquitectónica sugerida. Fuente: Contrato de consultoría 152 de 2023.* 26
Figura 5. *Perforación en muros de carga para la ubicación de medidores de servicios públicos.* 27
Figura 6. *Separación entre edificaciones.*..... 27
Figura 7. *Implantación arquitectónica. Fuente: Contrato de consultoría No.152 de 2023.* 28
Figura 8. *Fachada de la Torre 6 con presencia de suciedad por lavado diferencial.* .....**¡Error! Marcador no definido.**
Figura 9. *Desplomes de muros que exceden los criterios de aceptación de la NS-10.*..... 33
Figura 10. *Efectos de inadecuada instalación del refuerzo electrosoldado en placas de entrepiso.* 34
Figura 11. *Efectos de inadecuada instalación del acero de refuerzo en puertas y ventanas.* ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Lista de Anexos

Anexo 1. Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural muros de carga en concreto reforzado

Resumen

La presente monografía tiene como resultado la elaboración de un *Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado*. El estudio toma como caso base el conjunto residencial Torres del Silencio en Yopal (Casanare), donde se identificaron y clasificaron lesiones estructurales frecuentes en este tipo de construcciones.

En Colombia, más del 50 % de las edificaciones residenciales, especialmente aquellas correspondientes a programas de Vivienda de Interés Social (VIS) y Vivienda de Interés Prioritaria (VIP), se desarrollan bajo este sistema estructural. De allí la relevancia de contar con herramientas técnicas que fortalezcan la seguridad, la durabilidad y la habitabilidad de los proyectos.

La metodología comprendió: revisión normativa (Reglamento NSR-10, NTC y manuales técnicos previos), análisis de resultados de consultoría especializada, visitas de inspección al conjunto en estudio, elaboración de modelos de análisis y validación con expertos.

El manual resultante se estructura en tres ejes —prevención, evaluación y rehabilitación— y ofrece lineamientos prácticos para profesionales de la construcción. Su aplicación busca reducir vulnerabilidades, prolongar la vida útil de las edificaciones y aportar a la sostenibilidad del entorno construido.

Palabras clave: Patología de la construcción, muros de carga en concreto reforzado, prevención de lesiones, evaluación de lesiones, rehabilitación de lesiones, durabilidad

Abstract

This monograph culminates in the creation of a *Technical Manual for the Prevention, Evaluation and Rehabilitation of Structural Damage in Residential Buildings featuring Load-Bearing Walls in Reinforced Concrete.* This manual is informed by a case study of the Torres del Silencio residential complex in Yopal (Casanare), where structural damage of this nature was frequently identified and classified in buildings exhibiting such characteristics.

In Colombia, more than 50% of residential buildings, especially those within Social Interest Housing (VIS) and Priority Interest Housing (VIP) programs, are constructed using this type of structural system. Hence, the relevance of providing technical tools that enhance the safety, durability and habitability of these buildings.

The methodology employed in this study encompassed: a regulatory review (NSR-10, NTC, and previous technical manuals), an analysis of specialized consultancies conducted by *Dico Ingeniería y Arquitectura S.A.S. (2022),* field inspections of the case study building complex aimed at identifying and classifying existing structural damage, the development of analytical models, and validation with experts.

The resulting manual is structured around three axes—prevention, evaluation, and rehabilitation—and offers practical guidelines for construction professionals. Its application seeks to reduce the structural vulnerability of these buildings, extend their service life, and contribute to the sustainability of the built environment.

Keywords: Building pathology, Load-bearing walls in reinforced concrete, Damage prevention, Damage assessment, Damage rehabilitation, Durability.

1. Introducción

Las lesiones en edificaciones residenciales constituyen un problema recurrente en el sector de la construcción en Colombia, pues afectan la seguridad estructural, la durabilidad de los materiales y la habitabilidad de las viviendas. Dichas manifestaciones patológicas, que pueden incluir fisuras, humedades, desprendimientos y corrosión del refuerzo, se presentan con mayor frecuencia en proyectos construidos bajo el sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado, ampliamente utilizado en el país. De hecho, más del 50 % de las edificaciones residenciales, y en particular aquellas correspondientes a programas de Vivienda de Interés Social (VIS) y Vivienda de Interés Prioritaria (VIP), se edifican bajo esta tipología, lo que resalta la importancia de generar herramientas técnicas específicas para su adecuada gestión.

Aunque en la normativa vigente, como el Reglamento NSR-10 (AIS, 2010) y las Normas Técnicas Colombianas NTC (ICONTEC, 2016), se incluyen criterios generales para el diseño y construcción de edificaciones, la orientación práctica para la prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en sistemas de muros de carga en concreto reforzado aún resulta limitada. Asimismo, la revisión de manuales desarrollados para otros sistemas estructurales, como la mampostería reforzada, evidencia la necesidad de contar con un documento especializado para este sistema constructivo, que tenga en cuenta tanto las condiciones normativas como las particularidades observadas en campo.

Con el fin de atender esta necesidad, la presente monografía se centra en el desarrollo de un Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado, elaborado a partir del análisis del proyecto residencial Torres del Silencio, en Yopal (Casanare). Este caso de estudio permitió identificar y clasificar lesiones existentes, complementando la información obtenida mediante la revisión normativa, la consulta de estudios previos como la consultoría realizada por DICO INGENIERÍA Y ARQUITECTURA S.A.S. (DICO, 2022) y la comparación con experiencias técnicas documentadas en otros contextos.

El manual resultante se estructura en tres ejes principales: prevención de lesiones, donde se plantean recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento; evaluación de lesiones, que incluye metodologías de inspección y diagnóstico; y rehabilitación de lesiones, con criterios prácticos para la intervención y recuperación de edificaciones afectadas.

La monografía se organiza en varios capítulos que abordan, en primer lugar, el marco conceptual y normativo de la patología de la construcción; en segundo lugar, la descripción del caso de estudio y la metodología aplicada; y, finalmente, la presentación del manual como producto central. De este modo, el trabajo busca no solo aportar una herramienta práctica para la gestión de edificaciones específicas, sino también ofrecer una guía replicable que contribuya a la seguridad, durabilidad y sostenibilidad del parque habitacional en Colombia.

2. Formulación del Problema

2.1. Formulación del problema

En Colombia, el sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado se ha consolidado como una de las principales tipologías constructivas para el desarrollo de Vivienda de Interés Social (VIS) y Vivienda de Interés Prioritaria (VIP). Este hecho responde a su eficiencia en costos, rapidez constructiva y adaptabilidad a proyectos de mediana altura. Sin embargo, a pesar de su amplia utilización, se observa con frecuencia la aparición de lesiones que comprometen tanto la seguridad estructural como la durabilidad y habitabilidad de las edificaciones.

Si bien el país cuenta con reglamentos de diseño y construcción sismo resistente, como el Reglamento NSR-10, y con Normas Técnicas Colombianas (NTC) que establecen lineamientos para el adecuado diseño y ejecución de estructuras, en la práctica estas disposiciones no siempre son aplicadas de manera rigurosa. Factores como el desconocimiento de la normativa por parte de algunos profesionales, la insuficiente capacitación técnica y las malas prácticas constructivas han dado lugar a patologías recurrentes como fisuras, humedades, desprendimientos y corrosión del refuerzo. Dichas fallas, lejos de ser incidentales, se han convertido en un problema sistemático que incrementa los costos de mantenimiento y reparación, además de generar riesgos para la seguridad y el bienestar de los habitantes.

Por este motivo se considera que falta el desarrollo de herramientas prácticas de consulta y guías técnicas aplicadas que contribuyan a reducir la proliferación de lesiones en edificaciones residenciales construidas en muros de concreto reforzado, muchas de las cuales podían hacer sido prevenidas mediante la aplicación de buenas prácticas y recomendaciones constructivas. En este contexto, la ausencia de un documento específico para el sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado en Colombia representa una limitación importante para la gestión adecuada de este tipo de construcciones.

De ahí surge la necesidad de desarrollar un manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones, que traduzca la normativa y los criterios teóricos en lineamientos claros, prácticos y aplicables en obra. Tal manual no solo facilitaría la correcta aplicación de la normativa vigente, sino que también ayudaría a reducir la recurrencia de lesiones atribuibles a malas prácticas constructivas, aportando a la prolongación de la vida útil de las edificaciones y a la sostenibilidad del entorno urbano.

2.2. Delimitación del problema

El presente estudio se delimita al análisis de las lesiones constructivas que se presentan en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado, dado que este tipo de solución estructural es ampliamente utilizada en Colombia, especialmente en proyectos de vivienda de interés social y en desarrollos de estratos medios. Temáticamente, el trabajo se centra en la prevención, evaluación y rehabilitación de patologías derivadas de la inadecuada aplicación de la normativa de diseño y construcción sismo resistente (Reglamento

NSR-10) y demás normas técnicas relacionadas, dejando por fuera el análisis de otros sistemas estructurales como pórticos, estructuras metálicas o en madera. En este marco, la monografía se orienta específicamente a la elaboración de un manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema de muros de carga en concreto reforzado, que brinde lineamientos prácticos y de fácil aplicación para los profesionales y técnicos de la construcción. En cuanto al alcance espacial, la investigación se enmarca en el contexto colombiano, con especial referencia a regiones con alta demanda de vivienda y condiciones sísmicas significativas, aunque los lineamientos propuestos pueden aplicarse de manera general a nivel nacional. Temporalmente, el estudio se ubica en el marco de la normativa vigente (Reglamento NSR-10 y sus actualizaciones), atendiendo a la problemática actual del desconocimiento y aplicación parcial de estas disposiciones por parte de los profesionales de la construcción. Finalmente, la delimitación poblacional se dirige a ingenieros, arquitectos y maestros de obra, quienes participan directamente en el diseño, supervisión y ejecución de edificaciones residenciales, constituyéndose en los actores clave para la prevención y corrección de lesiones constructivas mediante el uso del manual.

3. Justificación

En Colombia, las edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado constituyen una de las soluciones más utilizadas para responder a la creciente demanda de vivienda, especialmente en proyectos de interés social y desarrollos de estratos medios. Sin embargo, pese a la existencia de la normativa de diseño y construcción sismo resistente (Reglamento NSR-10) y de otras disposiciones técnicas, en la práctica su aplicación resulta incompleta, desactualizada o incluso desconocida por parte de muchos profesionales y técnicos de la construcción. Esta situación ha dado lugar a la aparición de múltiples lesiones y falencias constructivas que comprometen la funcionalidad, la durabilidad y, sobre todo, la seguridad de las edificaciones.

Un caso representativo se presentó en el año 2022, cuando, debido a las evidentes falencias constructivas del conjunto residencial Torres del Silencio, se adelantó una consultoría para evaluar su vulnerabilidad sísmica. El estudio concluyó que, dadas las deficiencias estructurales encontradas, la alternativa más viable era la demolición total de las torres que componían el proyecto. Esta decisión evidenció no solo las graves consecuencias técnicas y económicas de las malas prácticas constructivas, sino también el profundo impacto social derivado de ellas: cerca de 400 familias, que habían invertido su patrimonio y esperaban desde hacía más de diez años acceder a una vivienda digna, vieron frustrada su expectativa y quedaron en una situación de alta vulnerabilidad.

En este contexto, la presente monografía adquiere relevancia al proponer la elaboración de un manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema de muros de carga en concreto reforzado, concebido como una herramienta práctica y de fácil consulta para ingenieros, arquitectos y maestros de obra. Dicho manual busca fortalecer la correcta aplicación de la normativa vigente, promover buenas prácticas constructivas y reducir la recurrencia de fallas que afectan directamente la seguridad estructural de las edificaciones y la integridad de sus ocupantes. De esta manera, el estudio no solo aporta al ámbito académico y técnico, sino que también ofrece un valor social significativo, al contribuir a la construcción de viviendas más seguras, confiables y acordes con el derecho de las familias a una vivienda digna.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Elaborar la primera versión del *Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado*, dirigido a ingenieros y arquitectos, con el fin de fortalecer la aplicación de la normativa sismo resistente vigente, promover buenas prácticas constructivas y contribuir a la reducción de deficiencias estructurales que afectan la seguridad, la durabilidad y el derecho de las familias a una vivienda digna.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar y clasificar las principales lesiones y deficiencias constructivas presentes en el proyecto urbanístico seleccionado como caso de estudio, con el fin de orientar el manual a los aspectos preventivos (Patología pediátrica)
- Plantear una primera etapa del manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado, la cual pueda ser actualizada, complementada y ajustada por futuros grupos de profesionales de la Maestría en Patología de la Construcción.

5. Marco Teórico

5.1. Evolución de Normas Sismo Resistentes Colombianas

El desarrollo normativo colombiano en materia de construcción sismo-resistente ha sido progresivo y responde a la necesidad de reducir la vulnerabilidad frente a eventos sísmicos. Dicha evolución comprende el Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes (CCCSR-84), su posterior actualización mediante el NSR-98, y la versión vigente Reglamento NSR-10, además de la producción de manuales técnicos y guías de apoyo por parte de la comunidad técnica (AIS y otras organizaciones).

Decreto-Ley 1400 de 7 de junio de 1984 - CCCSR-84, el Decreto-Ley 1400 de 1984 adoptó el primer Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes (CCCSR-84), que estableció por primera vez en el país requisitos técnicos obligatorios para el diseño y la construcción de edificaciones con criterio sismo-resistente. Este código constituyó la base jurídica y técnica para las regulaciones posteriores, al fijar objetivos de protección de la vida y criterios básicos de diseño estructural.

Ley 400 de 1997, expedida el 19 de agosto de 1997 "Por el cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes"

Decreto 33 de1998, expedido el 9 de enero de 1998 Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes **NSR-98**. Este documento es la primera actualización técnica del CCCSR-84 se formalizó mediante el Decreto 33 de 1998. El Reglamento NSR-98 reorganizó y actualizó los contenidos técnicos (incluyendo tópicos de sismología aplicada, requisitos geotécnicos, diseño estructural por sistemas y criterios de supervisión técnica), con el objetivo de reducir al mínimo la pérdida de vidas y proteger el patrimonio.

Decreto 34 de 1999, expedido el 8 de enero de 1999 "Por medio del cual se modifican algunas disposiciones del decreto 33 de 1998", el cual introdujo ajustes técnicos y correcciones puntuales al texto de la NSR-98 (ordinales, numerales, literales, párrafos, figuras, tablas, ecuaciones y coeficientes). En la práctica se usó para corregir y precisar criterios de aplicación detectados tras la entrada en vigencia de la NSR-98.

Decreto 2809 de 2000, expedido el 29 de diciembre 2000 "Por el cual se modifican parcialmente los Decretos 33 de 1998 y 34 de 1999"

Ley 1229 de 2008, expedida el 16 de julio de 2008 "Por la cual se modifica y adiciona la Ley 400 del 19 de agosto de 1997"

Reglamento NSR-10, establece los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de edificaciones sismo resistentes en el país. Su aplicación es de carácter obligatorio y abarca aspectos estructurales, no estructurales, geotécnicos y de instalaciones, garantizando que las edificaciones cuenten con un nivel adecuado de seguridad ante eventos sísmicos

Decreto 0926 de 2010 expedido al 19 de marzo de 2010 ¨Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismorresistentes NSR-10"

Decreto 2525 de 2010 expedido al 13 de julio de 2010 “Por el cual se modifica el Decreto 926 de 2010 y se dictan otras disposiciones”

Decreto 0092 de 2011 expedido al 17 de enero de 2011 “Por el cual se modifica el Decreto 926 de 2010”

Decreto 340 de 2012 expedido al 13 de febrero de 2012 “Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10”

Ley 1796 de 2016 expedida el 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”

Decreto 945 de 2017 expedido al 5 de junio de 2017 “Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismorresistentes NSR-10”

Decreto 2113 de 2019 expedido al 25 de agosto de 2023 “Por el cual se incorpora al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-l0 el documento AIS-610-EP-2017 - Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada, y se dictan otras disposiciones”

Decreto 1711 de 2021 expedido al 13 de diciembre de 2021 “Por el cual se modifica parcialmente la Norma Sismo Resistente NSR-10”

Decreto 1401 de 2023 expedido al 25 de agosto de 2023 “Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10”

Decreto 1580 de 2023 expedido al 25 de septiembre de 2023 “Por el cual se corrige un yerro en el Decreto 1401 de 2023 ¨Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10”

Documento AIS 100-24: Diseño y Construcción de Edificaciones Sismo Resistentes. El AIS 100-24, publicado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, es un documento técnico fundamental que complementa la NSR-10. Su objetivo principal es establecer directrices claras y actualizadas para el diseño y la construcción de edificaciones sismo resistentes en Colombia, con el propósito de reducir la vulnerabilidad estructural y no estructural de las construcciones.

5.2. Manuales de diseño y construcción sismo resistente en Colombia

La producción de manuales técnicos en Colombia ha constituido un instrumento fundamental para la difusión de los principios del diseño y la construcción sismo-resistente, complementando lo dispuesto en la normativa oficial como el Reglamento NSR-10. Estos documentos, elaborados por entidades como la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), instituciones académicas y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), han buscado traducir el lenguaje normativo a guías prácticas de aplicación en distintos contextos constructivos.

5.2.1. Construcciones sismo-resistentes: manual para instructores (SENA, sin fecha)

Manual docente del SENA para instructores técnicos, que aborda desde principios sobre terremotos hasta reparación de edificaciones en ladrillo y adobe, incluyendo herramientas como formularios de evaluación de daños. cidbimena.bvs.hn

5.2.2. Construcciones sismo-resistentes: manual técnico de capacitación (SENA, 1985).

Un manual formativo del SENA con principios básicos de sismo-resistencia y pautas técnicas generales para construcción antisísmica. Aunque anterior a la NSR-98/10, sigue siendo útil como herramienta de capacitación técnica. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes

5.2.3. *Manual de construcción sismo-resistente de viviendas en bahareque encementado (AIS / Fundación Corona, ca. 2000).*

Orientado a viviendas de bahareque encementado con madera y guadua (uno o dos pisos), este manual ofrece requisitos simplificados del título E de las NSR-98, adaptados a tecnologías constructivas tradicionales, útiles para fomentar construcciones seguras en contextos rurales.

5.2.4. *Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería (AIS, 2001).*

Elaborado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), este manual presenta el título E de las Normas NSR-98, métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de uno o dos pisos y estrategias de rehabilitación y reforzamiento estructural. Es una referencia fundamental para soluciones aplicadas a edificaciones vulnerables.

5.2.5. Manual de diseño y construcción sismo-resistente para casas de uno y dos pisos en mampostería confinada (Universidad Piloto de Colombia, 2020).

Trabajo de grado que desarrolla un manual básico de diseño y construcción sismo-resistente para viviendas (1-2 pisos) con muros de mampostería confinada, conforme al título E del Reglamento NSR-10. Procede del repositorio académico de la Universidad Piloto.

5.2.6. Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes de mampostería confinada de uno y dos pisos (UNGRD, 2021).

Producida por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), esta guía está dirigida a personas en procesos de autoconstrucción. Busca reducir la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería confinada mediante métodos construidos según la normativa vigente (Reglamento NSR-10).

6. Metodología

La presente monografía se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y aplicado, orientado a la recopilación, análisis y sistematización de información normativa, técnica y empírica, con el propósito de elaborar un Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado. La metodología adoptada integró tres componentes: la revisión documental, el análisis de una consultoría técnica especializada y la construcción didáctica del manual.

6.1. Revisión normativa y documental

Se realizó una revisión detallada de la normativa técnica vigente en Colombia, en particular el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (AIS, 2010) y sus decretos modificatorios, así como normas técnicas NTC (ICONTEC, 2016) asociadas a los procesos constructivos.

De manera complementaria, se analizaron manuales técnicos desarrollados en el país para otros sistemas constructivos (mampostería, estructuras metálicas, prefabricados, entre otros). Este ejercicio permitió contrastar enfoques metodológicos, identificar vacíos frente al sistema de muros de carga en concreto reforzado y sustentar la pertinencia de elaborar un manual especializado para este tipo de edificaciones.

6.2. Análisis de la consultoría No 2991 de 2021

El insumo central de la monografía provino del contrato de consultoría realizado por DICO Ingeniería y Arquitectura S.A.S. (DICO, 2022) en el conjunto residencial Torres del Silencio de Yopal (Casanare). Dicha consultoría es un estudio extenso y altamente especializado que documenta, con rigor técnico, las patologías presentes en edificaciones de muros de carga en concreto reforzado.

El grupo de trabajo abordó la consultoría a través de un proceso sistemático de lectura crítica, clasificación y síntesis, orientado a filtrar la información más relevante para los objetivos de la monografía. Este ejercicio implicó:

- Organizar y categorizar las lesiones documentadas, atendiendo a su origen (diseño, construcción, materiales o mantenimiento).
- Jerarquizar la información técnica, priorizando las patologías con mayor incidencia y riesgo estructural.
- Traducir los hallazgos altamente especializados a un lenguaje pedagógico accesible para ingenieros y arquitectos en ejercicio.
- Comparar los resultados de la consultoría con la normativa y con otros manuales revisados, con el fin de validar la coherencia de los contenidos.

La complejidad de esta etapa radicó en transformar un informe técnico denso en un insumo formativo práctico, sin desvirtuar la rigurosidad del estudio original. Este paso permitió que el manual resultante tuviera una base empírica sólida y aplicable a la práctica profesional.

6.3. Elaboración, edición y diseño del manual

Con base en la sistematización anterior, se elaboró el manual estructurado en tres ejes: prevención, evaluación y rehabilitación. El documento fue diseñado con un enfoque didáctico, empleando:

- Síntesis de contenidos técnicos redactados en lenguaje claro.
- Recursos gráficos (fotografías, ilustraciones y gemelo digital en ARCHICAD-BIM).
- Representaciones visuales progresivas, utilizando códigos de color para la criticidad de las lesiones.
- Diseño gráfico profesional con tipografía INTER y estilo de maqueta, que refuerza su carácter pedagógico.

6.4. Dirección y seguimiento académico

El desarrollo metodológico estuvo acompañado por la dirección y retroalimentación continua del tutor de la monografía, quien desempeñó un papel fundamental en:

- Validar la coherencia metodológica de cada fase.
- Orientar los criterios de selección y clasificación de la información de la consultoría.
- Asegurar la rigurosidad académica del manual como producto final.
- Proponer ajustes que garantizaron la alineación del documento con los objetivos de investigación.

De esta manera, el tutor no solo cumplió una función de acompañamiento, sino que se constituyó en garante del proceso metodológico y de la calidad académica del resultado final.

6.5. Estrategias de actualización

Se definieron lineamientos para la actualización futura del manual, tales como la incorporación de nuevos casos de estudio, la integración de cambios normativos y la retroalimentación de profesionales de la construcción.

En suma, la metodología se caracterizó por la combinación de un análisis documental riguroso, la sistematización crítica de una consultoría especializada y la validación académica permanente, lo que permitió transformar un material técnico complejo en un recurso didáctico accesible y aplicable.

7. Resultados

7.1. Manual técnico de prevención, evaluación y rehabilitación

El principal resultado de este trabajo de grado es el Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado, el cual fue concebido como una herramienta práctica de consulta y aplicación para profesionales de la ingeniería y la arquitectura en Colombia. Su elaboración responde a la necesidad de contar con un documento especializado que integre la normativa vigente, la experiencia derivada del análisis de casos como el proyecto *Torres del Silencio* y la sistematización de criterios técnicos aplicables a procesos de diseño, construcción y rehabilitación de edificaciones residenciales.

La importancia del presente manual se evidencia al considerar experiencias negativas en proyectos de vivienda en Colombia, como el caso del conjunto residencial Torres del Silencio en Yopal (Casanare), el cual debe ser demolido en su totalidad debido a la presencia de fallas estructurales y constructivas que pudieron ser prevenidas en su mayoría. Este hecho demuestra la magnitud de los impactos que pueden derivarse de una inadecuada gestión técnica y de la ausencia de herramientas prácticas para prevenir y atender lesiones en edificaciones. La Figura 1 muestra la portada del manual desarrollado durante el trabajo de grado.

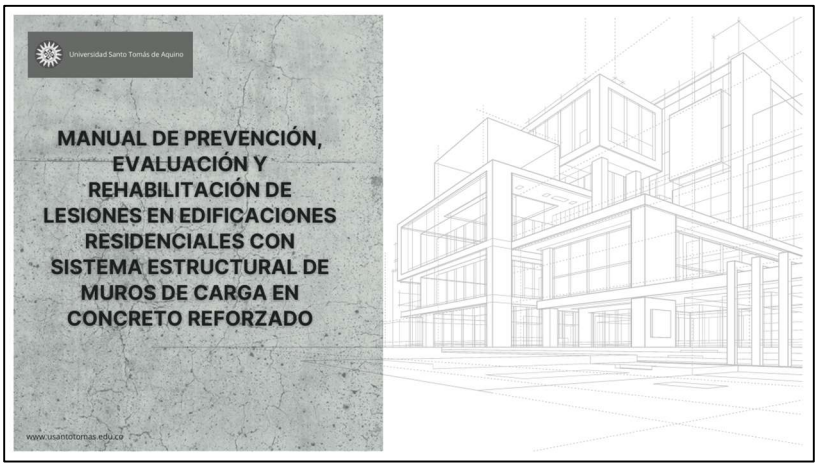

Figura 1. *Portada del Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural muros de carga en concreto reforzado*

7.1.1. Estructura del manual

El manual está organizado en tres líneas de acción claramente diferenciadas, que corresponden a las etapas clave en la gestión de lesiones constructivas:

- **Prevención:** Esta sección reúne un conjunto de lineamientos orientados a reducir de manera significativa la probabilidad de que se presenten fallas o lesiones durante las fases de diseño y construcción de edificaciones con sistema de muros de carga en concreto reforzado. Para tal fin, se abordan aspectos relacionados con el diseño arquitectónico y el diseño estructural, enfatizando la necesidad de una adecuada coordinación entre las

diferentes especialidades (hidrosanitarias, eléctricas, mecánicas, etc.), con el fin de evitar interferencias que comprometan la integridad del sistema.
Asimismo, se incluyen criterios para la correcta especificación de materiales de construcción, acompañados de procedimientos de control de calidad que garanticen su idoneidad y desempeño en obra. El manual también incorpora recomendaciones sobre el uso, montaje y mantenimiento de formaletas, así como criterios de aceptación que permitan validar la conformidad técnica de los procesos constructivos.
Finalmente, se resalta la importancia de la interventoría y la supervisión técnica permanente, tanto en el de diseño como en la ejecución, como un mecanismo esencial para asegurar la durabilidad, funcionalidad y, sobre todo, el buen desempeño sísmico de las edificaciones, de acuerdo con las exigencias de la normativa sismo resistente vigente.

- **Evaluación:** Este componente establece las metodologías y herramientas para realizar la inspección, diagnóstico y clasificación de las lesiones que se presentan en edificaciones con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado. Su propósito es ofrecer procedimientos estandarizados que permitan identificar con precisión la naturaleza, origen y severidad de los daños, facilitando la toma de decisiones técnicas y la priorización de intervenciones.
  Para ello, se incluyen protocolos de inspección visual y seguimiento sistemático de fisuras y grietas, así como del control de asentamientos diferenciales y de la verticalidad de los elementos estructurales, aspectos críticos para determinar la estabilidad global de la edificación. Complementariamente, se establecen lineamientos para la toma de muestras de concreto endurecido, la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos, y la ejecución de pruebas de carga, que permiten evaluar la resistencia residual y el comportamiento estructural en condiciones reales.
  El manual también promueve la incorporación de tecnologías digitales avanzadas en los procesos de diagnóstico. Entre estas se contemplan la recolección de información en modelos digitales, la creación de gemelos digitales, la generación de atributos y propiedades de los elementos, y el procesamiento de datos a partir de modelos 3D, con el fin de producir diagnósticos más precisos y dinámicos. Dichos modelos permiten además la extracción de información en esquemas tipo data center y la integración de análisis gráficos con sobreescrituras, optimizando la documentación y el seguimiento de lesiones.
  De manera complementaria, este componente resalta la importancia de la realización de estudios patológicos, estudios de vulnerabilidad sísmica y análisis de reforzamiento estructural, garantizando que la evaluación no solo identifique los daños existentes, sino que también oriente la planeación de estrategias de mitigación y rehabilitación.

- **Rehabilitación:** Este componente reúne los procedimientos y recomendaciones técnicas orientadas a la reparación, refuerzo y recuperación de edificaciones con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado que presentan daños, deterioro o

deficiencias constructivas. Su finalidad es restituir la seguridad estructural, mejorar la funcionalidad arquitectónica y prolongar la vida útil de las edificaciones, considerando el cumplimiento de las normas técnicas y los criterios de desempeño sísmico vigentes.

Es fundamental aclarar que la selección de la técnica de intervención debe realizarse caso por caso, ya que un mismo tipo de lesión puede tener orígenes muy distintos. Por ejemplo, una fisura puede deberse a un asentamiento diferencial, a una sobrecarga no prevista, a una deflexión excesiva de los elementos, o incluso a variaciones térmicas. Por ello, el manual no sustituye el juicio profesional ni la evaluación especializada de un experto en patología de la construcción, sino que actúa como una guía de apoyo para orientar la toma de decisiones. El diagnóstico preciso y la intervención idónea deben estar siempre a cargo de profesionales competentes.

Dentro de los lineamientos generales se abordan los tratamientos específicos de lesiones, entre ellos: la reparación de fisuras y grietas mediante inyección de resinas, sellantes o morteros especializados; el tratamiento de humedades por capilaridad, filtraciones, a través de soluciones de impermeabilización y mejoramiento de drenajes; y la corrección de variaciones dimensionales, problemas de verticalidad y otros criterios geométricos que no cumplen los requisitos de aceptación normativa. También se incluyen procedimientos para el tratamiento frente a procesos de corrosión y oxidación del acero de refuerzo, que requieren limpieza, pasivación, recubrimiento y, en casos críticos, sustitución parcial.

En cuanto a las técnicas de refuerzo estructural, se contemplan intervenciones como el encamisado de columnas y elementos de borde, el encamisado de vigas aéreas, y el encamisado en concreto para losas y muros a cortante, soluciones que permiten mejorar la capacidad de carga y el desempeño sísmico de los elementos afectados.

Adicionalmente, se incluyen procedimientos de impermeabilización de cubiertas como estrategia preventiva y correctiva para reducir el ingreso de agua, mitigar deterioros futuros y preservar el confort interior de las viviendas.

Este componente resalta, además, la importancia de integrar la interventoría técnica y la supervisión especializada en cada etapa del proceso de rehabilitación, garantizando que las intervenciones se realicen con criterios de seguridad, calidad y durabilidad, y que contribuyan a mejorar el desempeño global de la edificación en el largo plazo.

7.1.2. Público objetivo

El manual está dirigido principalmente a ingenieros civiles, arquitectos, constructores en arquitectura e ingeniería, consultores, directores de obra, interventores, supervisores técnicos, funcionarios de entidades públicas y demás profesionales vinculados al sector de la construcción. Su carácter técnico-académico lo convierte en una herramienta especializada para la toma de decisiones en las diferentes etapas del ciclo constructivo, desde el diseño y la planeación, hasta la construcción, evaluación y rehabilitación de edificaciones con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado.

Aunque puede servir como material de apoyo para maestros de obra y personal operativo, su enfoque está orientado a profesionales que cuentan con las competencias necesarias para interpretar los lineamientos, contrastarlos con los reglamentos de diseño sismo resistente, las Normas Técnicas Colombianas (NTC) y demás disposiciones aplicables. En este sentido, el manual no sustituye la normatividad vigente, sino que actúa como una guía técnica de consulta, que fomenta el uso responsable de la reglamentación y promueve el cumplimiento de estándares de calidad y seguridad.

Es importante resaltar que no existe una solución universal para cada tipo de lesión o daño identificado en una edificación, ya que estos pueden tener orígenes, magnitudes y consecuencias muy diversas. Por ejemplo, una fisura puede ser consecuencia de un asentamiento diferencial, una sobrecarga, una deflexión excesiva o incluso de variaciones térmicas. Por ello, la información contenida en el manual debe entenderse como un conjunto de lineamientos y criterios orientadores, que sirven de apoyo a los profesionales para reconocer posibles fallas y evaluar alternativas de intervención. Sin embargo, en situaciones donde la severidad del daño comprometa la estabilidad de la edificación, su funcionalidad o la seguridad de los ocupantes, será indispensable acudir al diagnóstico especializado de un patólogo de la construcción o de un profesional idóneo con experiencia en estudios patológicos y rehabilitación estructural. De esta manera, el manual se configura como una herramienta práctica y complementaria, que fortalece la labor de los profesionales de la construcción, pero que en ningún caso reemplaza el análisis experto ni las responsabilidades inherentes a la práctica de la ingeniería y la arquitectura.

7.1.3. Casos de aplicación

El presente manual se constituye en una herramienta de consulta rápida, práctica y operativa, que organiza sus capítulos en torno a los tres enfoques fundamentales: prevención, evaluación y rehabilitación. Su estructura permite que cada usuario acceda de manera directa al componente requerido, facilitando la toma de decisiones oportunas en obra o durante la etapa de diseño. En este sentido, incorpora definiciones conceptuales y normativas aplicables al sistema estructural de muros de carga, listas de verificación para la inspección y el control de materiales, metodologías de diagnóstico sustentadas en la experiencia del caso Torres del Silencio y recomendaciones prácticas de intervención basadas en la NSR-10 y documentos técnicos complementarios.

La importancia de este manual radica en su potencial para mitigar los impactos negativos que históricamente han afectado proyectos de vivienda en Colombia. Tal como se evidenció en el conjunto residencial Torres del Silencio en Yopal (Casanare), la ausencia de una gestión técnica adecuada derivó en fallas estructurales que obligaron a plantear la demolición total de las edificaciones. Este hecho ilustra cómo la carencia de herramientas claras para orientar la prevención y el diagnóstico puede desencadenar consecuencias graves tanto para la comunidad como para las instituciones y los profesionales involucrados.

Desde una perspectiva social, el manual contribuye a proteger el derecho de las familias a una vivienda digna y segura, reduciendo la probabilidad de que se repitan escenarios de pérdida

patrimonial, incertidumbre y afectación emocional. En el plano económico, su implementación favorece la optimización de los recursos públicos y privados, al evitar sobrecostos derivados de demoliciones, reconstrucciones y litigios, permitiendo que los fondos se destinen de manera más eficiente a la ampliación de la cobertura habitacional.

Finalmente, en el ámbito legal, disciplinario y profesional, el manual refuerza la responsabilidad ética de los ingenieros, arquitectos, constructores en arquitectura e ingeniería, directores de obra, interventores y supervisores técnicos, al proporcionar criterios que aseguren una correcta aplicación de la normatividad vigente. De esta forma, no solo apoya la calidad y seguridad de las construcciones, sino que también fortalece la credibilidad institucional de las entidades públicas y privadas vinculadas a los programas de vivienda, consolidándose como un referente técnico para la práctica responsable y sostenible de la construcción en Colombia.

7.1.4. Posibilidad de complementación, actualización y mejora continua

El manual ha sido concebido con un carácter dinámico y flexible, de manera que pueda ser complementado, actualizado y mejorado de forma continua en función de los avances normativos, tecnológicos y metodológicos en el campo de la construcción. Este enfoque reconoce que las patologías constructivas, así como las técnicas de prevención, evaluación y rehabilitación, están en constante evolución debido a nuevas investigaciones, materiales innovadores, sistemas constructivos emergentes y cambios en los reglamentos de diseño sismo resistente y en las normas técnicas colombianas.

En este sentido, se abre la posibilidad para que futuros estudiantes de la especialización y la maestría en Patología de la Construcción contribuyan con sus investigaciones, estudios de caso y desarrollos académicos al enriquecimiento del manual. Dichos aportes permitirán generar adiciones, actualizaciones y mejoras que fortalezcan su aplicabilidad en escenarios reales, manteniendo vigente su utilidad como guía de referencia.

La continuidad en este proceso de retroalimentación académica y técnica garantizará que el manual se consolide como una herramienta cada vez más completa, capaz de responder a las necesidades del sector en distintos momentos históricos. De esta manera, se proyecta como un documento vivo, abierto a la construcción colectiva, que incrementará progresivamente su impacto en la práctica profesional y en la consolidación de edificaciones más seguras y duraderas en el territorio colombiano.

7.2. Descripción general del caso de estudio

El proyecto usado como caso de estudio para el desarrollo del manual desarrollado corresponde al proyecto urbanístico Torres del Silencio, el cual, está localizado en la Carrera 1ª con Calle 42 de la ciudad de Yopal (Casanare). Este proyecto está conformado por 40 torres de cinco pisos, que cuentan con un sistema estructural de muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES) apoyados sobre una placa de cimentación con vigas descolgadas. Cada torre tiene 10 apartamentos con un área de 64.80m^2, razón por la cual los 400 apartamentos suman un área que supera los 25.928m^2, construidos a partir del año 2011.

Figura 2. *Vista aérea del proyecto. Fuente (DICO, 2022)*

El convenio tripartito de cogestión que dio origen a la construcción del proyecto urbanístico Torres del Silencio, estuvo vigente desde el 24 de agosto de 2011 hasta el 28 de septiembre de 2017. Los contratos de obra y de interventoría derivados tuvieron múltiples prórrogas en tiempo y adiciones en valor, encaminadas a solucionar diversos aspectos técnicos y administrativos surgidos durante la ejecución de las actividades de obra, sin embargo, las obras nunca fueron ejecutadas al 100% y nunca pudo realizarse una entrega definitiva a las 400 familias beneficiarias del proyecto de vivienda, dentro de las cuales hay 218 familias amparadas bajo una acción popular (Barrio la Esmeralda), llevan postergado más de 18 años su anhelo de tener una vivienda digna. Actualmente, hay familias que viven bajo su propio riesgo en Torres del Silencio, pues a finales de diciembre de 2015 varias familias beneficiarias del proyecto de vivienda, iniciaron la ocupación de hecho de algunos apartamentos, situación que dificultó aún mas la ejecución de la obra, la cual estaba en curso.

Los aspectos administrativos, financieros, legales, éticos y disciplinarios ocurridos en contractualmente están fuera del alcance del presente documento académico y no serán abordados de ninguna manera, y al contrario de esto, se hará un análisis exclusivo a los aspectos técnicos y operativos en obra que pudieron ser decisivos en la ocurrencia de un número importante de daños, anomalías y lesiones que fueron determinantes en la falencias constructivas de las edificaciones, que al día de hoy deben ser demolidas en su totalidad.

7.3. Estudio de vulnerabilidad sísmico infraestructura existente (Contrato de Consultoría No. 2291 de 2021)

Teniendo en cuenta el estado de deterioro de algunas de las torres de apartamentos que componen el proyecto urbanístico Torres del Silencio, la alcaldía municipal de Yopal, a través de la Oficina de Gestión del Riesgo y Desastres, de la Secretaría de Gobierno y la Secretaría de Planeación, el día 12 de abril de 2019 se realizó una inspección ocular al proyecto con el fin de identificar el estado actual del mismo en términos de estabilidad y funcionalidad. Producto de dicha inspección ocular, se emitió un *Informe de Visita Torres del Silencio* de fecha 30 de abril de 2019, en el cual se recomendó lo siguiente:

> Realizar de manera urgente el estudio de evaluación geotécnica, estructural e hidráulica para determinar y diseñar el tipo de intervención requerida para corregir las deficiencias técnicas que presenta el proyecto de Vivienda Torres del Silencio, y garantizar las condiciones de seguridad de conformidad con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente vigente (NSR) con base en los grados de vulnerabilidad de las edificaciones.
> *(Minuta del Contrato de Consultoría No. 2291, 2021, p. 8).*

En virtud de lo anterior, el Municipio de Yopal emitió el Decreto No 326 del 22 de septiembre de 2021 “Por medio del cual se declara la calamidad pública en la urbanización Torres del Silencio del municipio de Yopal y se dictan otras disposiciones”. Con base a esto, el municipio de Yopal suscribió el contrato de consultoría No 1001.84.2291.2021 del 24 de diciembre de 2021 con la firma consultora DICO INGENIERIA Y ARQUITECTURA SAS, el cual tuvo por objeto realizar el “Diagnóstico de vulnerabilidad sísmica, patológica y estructural de la infraestructura existente en el conjunto de vivienda "Torres del Silencio" del municipio de Yopal, departamento de Casanare”.

El consultor designado desarrolló el objeto contractual, y para esto requirió adelantar las siguientes labores, entre otras:

- Levantamiento topográfico y georeferenciación del terreno. Eso incluyó chequeo de niveletas para control de asentamientos y control de verticalidad. Esta actividad incluyó también el levantamiento arquitectónico y estructural de las torres existentes.
- Elaboración de un estudio geológico y geotécnico que incluyó la realización de perforaciones mecánicas a 15.0m de profundidad, sondeos manuales a 6.0m de profundidad, auscultación de cimentación, líneas de refracción sísmica y ensayos de CBR. Las exploraciones directas estuvieron acompañadas de ensayos de campo y de laboratorios requeridos para hacer el análisis geotécnico.
- Elaboración de un estudio de hidrología e hidráulica para determinar el estado actual de las redes hidrosanitarias internas de las torres, así como el estado de los sistemas de alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial y sistema de acueducto del conjunto.
- Elaboración de un estudio patológico de las 40 torres existentes, el cual incluyó la historia clínica del proyecto, el levantamiento de lesiones, la elaboración de fichas, el diagnóstico y las alternativas de intervención.
- También se realizó un informe de ensayos de laboratorio para diagnóstico de estructuras en concreto reforzado, el cual incluyó la extracción y ensayo de núcleos de concreto, se ensayaron barras a tracción para determinar el esfuerzo de fluencia, se hicieron pruebas de doblado y pruebas químicas del acero corrugado. También se hicieron pruebas de carbonatación, ensayos de esclerometría y ensayos de petrografía, entre otros.
- También se realizó el estudio de vulnerabilidad sísmico de cada una de las 40 torres, mediante la modelación numérica y el análisis estructural usando software especializado.

- Con base a los resultados del estudio de vulnerabilidad sísmico, se planteó un informe de alternativas de reforzamiento, para la cual se analizaron múltiples factores en una matriz multicriterio. Dentro de este volumen, también se hizo la evaluación estructural como obra nueva usando la arquitectura original del proyecto.
- Esta consultoría también incluyó la realización de un plan de manejo ambiental y un documento técnico con lineamientos de permisos ambientales. De igual modo, se incluyó la realización de un presupuesto oficial consolidado, incluyendo APUs, especificaciones técnicas y memorias de cantidades de obra.

7.4. Estudios y diseños para la Construcción de la unidad residencial Torres del Silencio (Contrato de Consultoría No. 152 de 2023)

Teniendo en cuenta que el resultado del diagnóstico estructural de la infraestructura existente en el conjunto de vivienda "Torres del Silencio" desarrollado mediante el contrato de consultoría No 2291 de 2021, determinó técnica y económicamente que resulta inviable realizar intervenciones tendientes a la ejecución del reforzamiento estructural de las 40 torres de apartamentos que componen ese complejo habitacional, el Instituto de Vivienda, Gestión Urbana y Rural de Yopal – INDEV, en común acuerdo con las demás entidades accionadas, las cuales han sido acompañadas por el Tribunal Administrativo de Casanare y por los órganos de control, estructuró un concurso de méritos que dio origen al contrato de consultoría No 152 de 2023 suscrito con la firma consultora DICO INGENIERIA Y ARQUITECTURA SAS, el cual tuvo por objeto “realizar los estudios y diseños para la construcción de la unidad residencial Torres del Silencio del municipio de Yopal, departamento de Casanare”.

Es conveniente mencionar que el contrato de consultoría No 2291 de 2021 se enfocó en evaluar la infraestructura existente, mientras que el contrato No 152 de 2023 se desarrolló bajo la premisa de un cumplimiento normativo completo, partiendo de un planteamiento arquitectónico nuevo, y desarrollando los componentes de levantamiento topográfico, estudio geotécnico, urbanísticos, diseños estructurales para obra nueva, diseño de redes hidrosanitarias, diseño de red contra incendios, redes eléctricas, voz y datos, aires acondicionados, distribución de gas natural, diseño geométrico y de vías, plan de manejo ambiental, estudio económico y MGA.

Como resultado del contrato de consultoría No 152 de 2023, se realizó el trámite de la Resolución No 0054 del 14 de febrero de 2025 por parte del Curador Urbano 1 de Yopal “Por medio de la cual se expide la licencia urbanística de urbanización en la modalidad de desarrollo y de construcción en la modalidad de demolición + obra nueva (VIS)”.

Al día 23 de septiembre de 2025 se cuenta con la licencia vigente para realizar el proceso de la demolición de las 40 torres de apartamentos y para la construcción de las 20 torres nuevas diseñadas con la ejecución del contrato de consultoría No 152 de 2023. Según se ha indicado por la Gobernación Casanare y la Alcaldía de Yopal, ya se tienen asegurados los recursos para la correcta ejecución del proyecto, sin embargo, se debe coordinar el desalojo voluntario por parte de las familias que aún están habitando algunas torres de apartamentos.

7.5. Análisis de las principales deficiencias, daños y lesiones encontradas en el proyecto residencial Torres del Silencio.

El análisis de los daños y lesiones presentes en el proyecto, constituye un caso de estudio de especial relevancia, toda vez que las deficiencias constructivas identificadas obligaron a plantear la demolición total del conjunto residencial. Este hecho refleja la gravedad de las fallas en las diferentes etapas del ciclo constructivo y pone de manifiesto la necesidad de fortalecer los procesos de planeación, diseño, ejecución y control en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado. Dentro de este apartado se describen y analizan las lesiones, daños y deficiencias más representativas encontradas en las torres, las cuales se relacionan directamente con factores como:

- **Diseño arquitectónico:** inconsistencias en la concepción de la distribución espacial que comprometen la funcionalidad y la compatibilidad con los sistemas estructurales y técnicos de la edificación.
- **Diseño estructural:** falencias en la concepción y verificación del sistema de muros de carga en concreto reforzado, lo que generó deficiencias en la capacidad portante y en el comportamiento sismo-resistente.
- **Evaluación integral de los diseños:** ausencia de un análisis coordinado entre arquitectura, estructura, instalaciones eléctricas y redes sanitarias, que derivó en interferencias técnicas y en un aumento de la vulnerabilidad constructiva.
- **Control de calidad de los materiales:** deficiencias en la verificación de las propiedades del concreto, acero y demás insumos, lo cual incidió directamente en el desempeño de los elementos estructurales.
- **Control y mantenimiento de formaletas y equipos**: uso inadecuado de sistemas de encofrado, acompañado de una deficiente supervisión en su montaje y conservación, lo que afectó la precisión geométrica y la calidad final de los muros de carga.
- **Instalación del acero de refuerzo:** errores en la ubicación, fijación y traslape de las barras, que comprometieron la adherencia con el concreto y, en consecuencia, la capacidad estructural de los elementos.

El propósito de esta sección es documentar de manera técnica y sistemática los principales daños y lesiones detectados, estableciendo relaciones directas entre los errores cometidos y las consecuencias estructurales resultantes. En este contexto, cobra especial relevancia el manual de prevención, evaluación y rehabilitación desarrollado en el marco de esta monografía, ya que gran parte de estas lesiones pudieron ser anticipadas y evitadas mediante la aplicación de criterios adecuados de diseño, control de calidad y supervisión técnica en obra.

7.6. Opciones de mejora frente al Diseño Arquitectónico

El diseño arquitectónico inicial evidencia varias oportunidades de mejora que, de haberse considerado en la concepción del proyecto Torres del Silencio, habrían reducido de manera

significativa la aparición de lesiones y deficiencias en las edificaciones, según se muestra a continuación:

7.6.1. Distribución en planta de cada torre.

Una de las principales deficiencias identificadas en el diseño arquitectónico inicial del proyecto Torres del Silencio corresponde a la configuración de únicamente dos apartamentos por piso, lo que generó edificaciones con una planta alargada y esbelta. Esta disposición produce una rigidez diferencial en los dos ejes principales, situación que compromete el desempeño estructural frente a solicitaciones horizontales como las sísmicas, al generar torsiones debidas a las fuertes diferencias de rigidez en ambos sentidos. La Figura 3 muestra una vista en planta del diseño inicial sobre el cual se construyeron las edificaciones existentes:

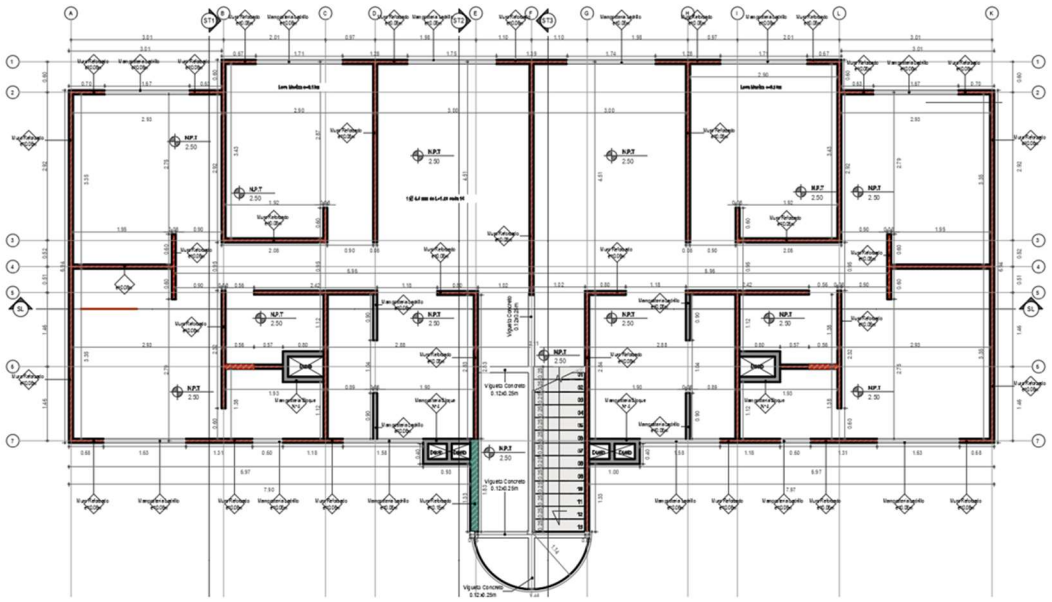

Figura 3. *Distribución arquitectónica inicial. Fuente: Contrato de consultoría 2991 de 2021.*

La distribución arquitectónica inicial muestra que hay una gran cantidad de muros verticales (sentido Y) respecto a la cantidad de muros horizontales (sentido X), principalmente por la necesidad de ubicar grandes ventanas en las fachadas debido a las altas temperaturas que se presentan en la ciudad de Yopal. El análisis estructural realizado en el contrato 2991 de 2021 demostró que la rigidez del eje X corresponde solo al 30% de la rigidez en el eje Y.

A manera de ejemplo, se muestra a continuación el planteamiento arquitectónico desarrollado por el ejecutor del Contrato de consultoría 152 de 2023, en el cual se plantearon 20 torres de cinco pisos, donde se ubicaron 4 apartamentos por piso, lo cual permitió tener una distribución de muros más regular en las 2 direcciones principales.

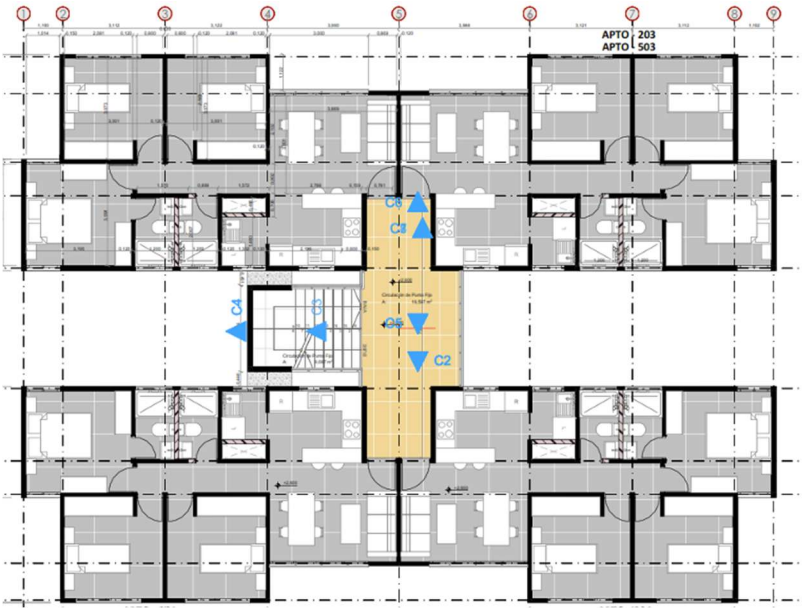

Figura 4. *Distribución arquitectónica sugerida. Fuente: Contrato de consultoría 152 de 2023.*

7.6.2. Ubicación de ductos.

En el diseño inicial del proyecto Torres del Silencio se contemplaron algunos ductos técnicos para el paso de instalaciones eléctricas, hidráulicas, sanitarias y de aguas lluvias; sin embargo, estos resultaron insuficientes y no lograron cumplir su función a cabalidad. Esta deficiencia obligó a realizar canalizaciones y perforaciones adicionales directamente sobre los muros de carga, debilitando su capacidad resistente y generando fisuras, filtraciones y pérdida de durabilidad. La falta de una adecuada planificación también ocasionó interferencias entre disciplinas técnicas, incrementando la complejidad constructiva y los tiempos de ejecución.

La alternativa de mejora consiste en diseñar un sistema integral de ductos verticales y horizontales desde la fase de proyecto arquitectónico, coordinado de manera precisa con los diseños estructurales, hidrosanitarios y eléctricos. Estos ductos deben dimensionarse adecuadamente y localizarse en zonas que no comprometan la función estructural de los muros de carga, garantizando accesibilidad y facilidad de mantenimiento. Con esta solución se logra preservar la integridad del sistema estructural, facilitar la instalación de las redes, minimizar filtraciones y asegurar un mayor orden constructivo. En consecuencia, se obtienen edificaciones con mayor calidad, durabilidad y eficiencia en la operación de los servicios.

La Figura 5 muestra un par de fotos de la fachada de dos torres diferentes, en las cuales se observa la manera inadecuada, en la que se realizaron perforaciones en los 5 pisos del único muro de carga de 15cm de espesor para la ubicación de los medidores de agua y de energía de los apartamentos. Esta situación trató de ser resuelta a nivel estético mediante la instalación de una tapa en fibro-cemento, sin embargo, la afectación estructural es evidente pues el elemento estructural ya no tiene continuidad desde cimentación a cubierta, afectando el comportamiento estructural de la edificación.

Figura 5. *Perforación en muros de carga para la ubicación de medidores de servicios públicos.*

Nota: Fotografías producto del Contrato de Consultoría No 2991 de 2021 suscrito entre el municipio de Yopal y DICO Ingeniería y Arquitectura SAS. Informe técnico, Yopal. (2022).

7.6.3. Implantación de las torres.

En la implantación urbanística inicial del proyecto Torres del Silencio se identificó una deficiencia relevante asociada a la excesiva proximidad entre torres de apartamentos, algunas de las cuales quedaron separadas solo por unos pocos centímetros. Para garantizar el distanciamiento sísmico requerido se recurrió al uso de rellenos parciales con láminas de poliestireno expandido, solución temporal que permitió cumplir con la separación sísmica, pero que dejó intersticios abiertos al ingreso de agua lluvia. Esta condición favoreció la aparición de humedades persistentes, la formación de hongos y facilitó el deterioro acelerado de las fachadas en las áreas de contacto, afectando tanto la durabilidad de los materiales como las condiciones de habitabilidad.

Figura 6. *Separación entre edificaciones.*

Nota: Fotografías producto del Contrato de Consultoría No 2991 de 2021 suscrito entre el municipio de Yopal y DICO Ingeniería y Arquitectura SAS. Informe técnico, Yopal. (2022).

A diferencia de la implantación original del proyecto, en la cual varias torres quedaron excesivamente próximas entre sí, el planteamiento urbanístico desarrollado en el Contrato de Consultoría 152 de 2023 presentó una alternativa que contempla la disposición de 20 torres con separación entre torres mayores a 3.0 metros, cumpliendo con los criterios de sismo resistencia y corrigiendo la condición de proximidad que facilitaba la aparición de humedades por el ingreso de agua lluvia, evitando la aparición de hongos y ataques biológicos y mejorando la estética de las fachadas.

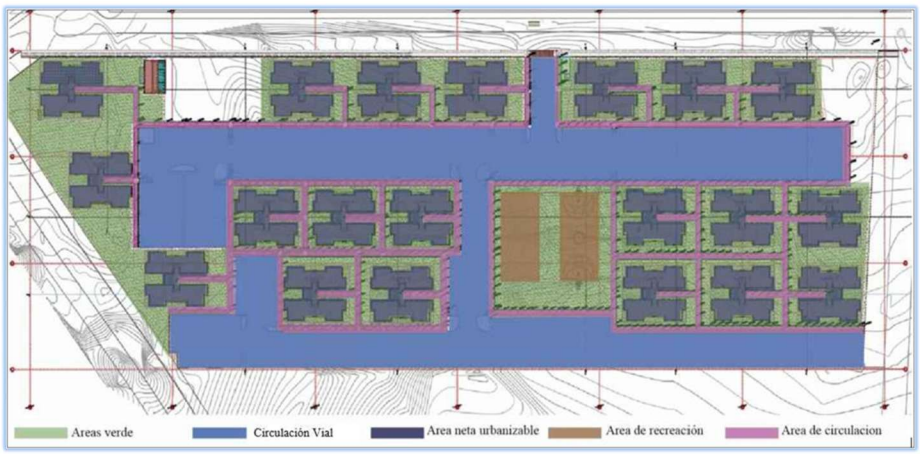

Figura 7. *Implantación arquitectónica. Fuente: Contrato de consultoría No.152 de 2023.*

Nota: Fotografías producto Contrato de Consultoría No 152 de 2023 suscrito entre el INDEV y DICO Ingeniería y Arquitectura SAS. Informe técnico, Yopal. (2024).

7.6.4. Ausencia de alfajía con gotero en las fachadas.

En los diseños también debió contemplarse la inclusión de alfajías con gotero en el remate de los antepechos de fachada, un detalle arquitectónico sencillo pero determinante para la protección de los acabados exteriores. Su ausencia ha favorecido el escurrimiento descontrolado del agua lluvia sobre los muros, generando lavado diferencial, manchas y suciedad irregular que afectan negativamente la estética de la edificación. Adicionalmente, esta acumulación de humedad en la superficie puede acelerar el deterioro de los materiales, comprometiendo la durabilidad de los revestimientos y la integridad de las fachadas. La correcta implementación de alfajías con gotero no solo habría mejorado la apariencia y uniformidad del conjunto, sino que también habría reducido la necesidad de mantenimientos frecuentes y los sobrecostos asociados a reparaciones prematuras, aportando a la sostenibilidad y eficiencia del proyecto.

7.7. Observaciones frente al diseño estructural inicial

El estudio de vulnerabilidad sísmica del proyecto Torres del Silencio, desarrollado en el marco del contrato de consultoría No. 2991 de 2021, tuvo como fundamento el cumplimiento de los principios establecidos en el Reglamento NSR-10. Sin embargo, los análisis efectuados evidenciaron deficiencias estructurales de gran magnitud que comprometen seriamente la seguridad de las edificaciones y la integridad de sus ocupantes.

7.7.1. Espesor y desempeño de los muros

Una de las principales debilidades corresponde al espesor de los muros de carga, definido en 80 mm, lo cual resulta insuficiente para resistir las solicitaciones de servicio y de resistencia. Este valor genera índices de flexocompresión elevados que se encuentran reflejados en el informe, y que representan un incumplimiento frente a las exigencias normativas de desempeño sísmico. El Reglamento NSR-10 admite espesores reducidos siempre que se garantice capacidad y ductilidad adecuadas, condición que no se cumple en el caso de Torres del Silencio.

Además, se desarrollaron 40 modelos analíticos, uno por cada torre, donde se comprobó que las solicitaciones a nivel de flexión, cortante y flexocompresión superan ampliamente la capacidad resistente de los muros. También se identificó un error en la consideración del área para cuantía mínima, calculada con un espesor de 60mm en lugar de 80mm, lo cual redujo artificialmente las demandas de refuerzo y contribuyó a un diseño más vulnerable.

7.7.2. Refuerzo insuficiente y ausencia de elementos especiales

Los resultados mostraron que los altos índices de flexocompresión requerían la incorporación de elementos especiales de borde, tal como lo establece el artículo C.21.9.6.2 del Reglamento NSR-10. No obstante, en los muros se utilizó únicamente una malla de grafil de 5,50 mm de diámetro separado cada 0.15 x 015m, que apenas cumple con la cuantía mínima de corte y flexión, sin refuerzos adicionales en esquinas ni bordes. Esta deficiencia limita la ductilidad y capacidad de disipación de energía del sistema estructural, reduciendo la posibilidad de que las edificaciones resistan adecuadamente un sismo severo.

7.7.3. Placas de entrepiso y diafragmas

En las placas de entrepiso se evidenciaron demandas elevadas, especialmente en el momento negativo, lo que generó índices de sobreesfuerzo significativos. Se concluyó que el acero requerido para resistir flexión es superior al provisto por la cuantía mínima, confirmando la insuficiencia del refuerzo colocado. Esta condición compromete tanto la resistencia como su función como diafragmas rígidos, afectando la transmisión de cargas hacia los muros.

7.7.4. Control de derivas y desempeño global

Uno de los hallazgos más críticos está relacionado con las derivas de piso. El límite reglamentario aplicable es del 1%, sin embargo, alrededor del 70% de las torres evaluadas no cumplen con este requisito, de manera que únicamente 9 de las 40 torres se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el Reglamento NSR-10. Las otras 31 presentan derivas excesivas, lo cual implica un riesgo inaceptable de daño en elementos no estructurales y compromete directamente la habitabilidad de las edificaciones después de un sismo.

7.7.5. Magnitud de los índices de sobreesfuerzo

Los análisis demostraron índices de sobreesfuerzo entre 2 y 9, magnitudes que confirman una alta susceptibilidad al daño y justifican la necesidad de reubicar a los habitantes de estas

edificaciones. Valores que reflejan la incapacidad de los muros para resistir cargas de flexo-compresión y de corte. En algunos casos, los muros requerían doble malla para resistir el cortante, pero solo se dispuso refuerzo en una sola línea, lo que incrementa la vulnerabilidad.

Los muros, que son los elementos principales de soporte frente a cargas gravitacionales y sísmicas, se constituyen en el componente más vulnerable de toda la estructura. Los índices más altos se localizaron en los pisos bajos, donde las solicitaciones son mayores. Se observó además que el arranque de refuerzo desde cimentación está conformado por barras de apenas 6 mm c/15 cm, lo que podría generar concentraciones de esfuerzos de tracción capaces de desgarrar el muro.

7.8. Recomendaciones sobre la evaluación integral de los diseños

Se recomienda que, en futuros proyectos, se realice un análisis integral y coordinado entre los diseños arquitectónicos, estructurales y de instalaciones (eléctricas, hidráulicas, gas, sanitarias, telecomunicaciones, y aguas lluvias). Esta coordinación resulta fundamental para garantizar la compatibilidad entre sistemas, prevenir interferencias y evitar la necesidad de ejecutar perforaciones o adaptaciones sobre elementos estructurales. Tal como se evidenció en el caso de estudio, la ausencia de esta articulación condujo a la instalación inadecuada de medidores, válvulas y accesorios en muros de carga, ocasionando daños en componentes portantes de concreto y aumentando la vulnerabilidad estructural. Un diseño interdisciplinario, respaldado en metodologías como BIM, permite anticipar y resolver conflictos, optimizar la ejecución constructiva y garantizar la sostenibilidad y la seguridad del proyecto.

7.9. Control de calidad de los materiales

Los resultados obtenidos a partir de la ejecución del *Volumen 6 – Ensayos de laboratorio para diagnóstico de estructuras en concreto reforzado y detección de patologías*, en el marco del Contrato de Consultoría No. 1001.84.2991.2021 de 2021, constituyen un insumo determinante para evaluar la seguridad estructural del proyecto de vivienda Torres del Silencio. El programa de ensayos desarrollado por la firma consultora permitió caracterizar de manera detallada las propiedades físicas y mecánicas del concreto y del acero de refuerzo empleados, aportando información indispensable para el desarrollo del *Volumen 5 – Estudio patológico* y del *Volumen 7 – Estudio de vulnerabilidad sísmica*.

Respecto al concreto, los resultados de resistencia a la compresión (f´c) obtenidos de los 296 núcleos extraídos son preocupantes. Las pruebas demostraron que un gran número de torres presentan valores de f´c por debajo de lo especificado en el diseño estructural, afectando tanto a los muros portantes como a las placas de entrepiso. Al analizar los datos por etapas, se evidenció que las torres de la Etapa 1 presentan las deficiencias más severas, seguidas por las torres de la Etapa 4, luego las de la Etapa 3 y finalmente las de la Etapa 2, que aunque mostró un mejor desempeño relativo, aún presentó un 33% de torres calificadas como “mala” o “regular”.

La magnitud del problema es evidente: únicamente el 37,5% de las torres cumplieron con los valores de f´c requeridos, lo que significa que 25 de las 40 torres presentan deficiencias que las ubican en las categorías de “regular”, “malo” o “muy malo”. Especial atención merecen

aquellas catalogadas como “muy malas”, donde los valores de resistencia a la compresión son incluso inferiores a 2.500 psi. Este nivel de resistencia es claramente insuficiente para un sistema de muros de carga en concreto reforzado que debe garantizar un desempeño adecuado bajo cargas gravitacionales y, con mayor razón, bajo solicitaciones sísmicas.

El bajo desempeño de la resistencia a la compresión no es un hallazgo aislado, sino que revela fallas sistemáticas en el control de calidad durante la construcción. La utilización de concretos con f´c inferiores al especificado compromete la capacidad resistente de los muros portantes y de las losas, incrementando su vulnerabilidad frente a fenómenos de flexo-compresión y de corte. Adicionalmente, al ser los muros el elemento más crítico del sistema estructural, la reducción de su capacidad resistente aumenta significativamente la probabilidad de colapso progresivo durante un sismo, generando un escenario de alto riesgo para los ocupantes.

Otro aspecto que merece destacarse es la distribución irregular de los resultados entre las diferentes etapas de construcción. El hecho de que la Etapa 2 presente un mayor nivel de cumplimiento sugiere que en algunos periodos se implementaron mejores controles técnicos o que se contó con un mejor suministro de materiales, mientras que en otras etapas se evidencia la ausencia de supervisión adecuada o el uso de concretos de menor calidad. Esta variabilidad no solo denota falta de uniformidad en el proceso constructivo, sino que también complica la aplicación de medidas de rehabilitación, pues no todas las torres presentan el mismo nivel de deterioro ni los mismos déficits de resistencia.

Las consecuencias de estos hallazgos son trascendentales. Al tener un número tan elevado de torres con resistencias a la compresión por debajo del umbral reglamentario, el proyecto en su conjunto debe considerarse vulnerable desde el punto de vista estructural. Más aún, si se tiene en cuenta que el Reglamento NSR-10 establece criterios estrictos de resistencia mínima precisamente para garantizar un comportamiento adecuado bajo solicitaciones sísmicas. La existencia de torres con f´c menores a 2.500 psi es una señal crítica de alarma, que debe ser considerada con prioridad en el estudio de vulnerabilidad sísmica, pues condiciona directamente la capacidad de disipación de energía y la seguridad global de las edificaciones.

En conclusión, los resultados del *Volumen 6*, obtenidos en el marco del Contrato de Consultoría No. 1001.84.2991.2021 de 2021, ponen de manifiesto la importancia de un adecuado control de la calidad del concreto desde la etapa de producción hasta la colocación en obra. La resistencia a la compresión constituye el parámetro más relevante para garantizar la seguridad estructural, y los hallazgos demuestran que su incumplimiento no solo afecta el desempeño esperado de los muros y placas, sino que compromete la estabilidad integral de las edificaciones. La experiencia del proyecto Torres del Silencio debe servir como advertencia para reforzar los mecanismos de aseguramiento de la calidad en futuros desarrollos de vivienda, con el fin de evitar riesgos que comprometan tanto la habitabilidad como la vida de los usuarios.

Nota Importante: Aunque actualmente existen normas técnicas que regulan los controles de calidad de los materiales, este manual tiene como propósito complementar dichas disposiciones, recopilando y destacando las especificaciones técnicas más relevantes que deben ser observadas de manera estricta en las obras con sistemas estructurales de muros de carga en

concreto reforzado. El objetivo es brindar una guía práctica al personal técnico y operativo, de modo que cuenten con parámetros claros para la correcta ejecución, supervisión y control de los procesos constructivos, minimizando así la aparición de deficiencias que comprometan la seguridad, la durabilidad y el desempeño estructural de las edificaciones.

7.10. Uso adecuado y mantenimiento de formaletas metálicas manoportables.

El control y mantenimiento de las formaletas constituye un aspecto crítico en la construcción de muros de carga en concreto, dado que estos sistemas no solo definen la geometría final del elemento estructural, sino que inciden directamente en la resistencia, durabilidad y comportamiento sísmico. El uso inadecuado de encofrados, más las fallas en su montaje y conservación, puede provocar pérdidas de sección, nidos de grava, deformaciones y filtraciones de lechada, reduciendo la capacidad resistente del concreto e introduciendo concentraciones de esfuerzo no previstas en el diseño. Por ello, resulta indispensable que el personal técnico y operativo en obra cumpla protocolos estrictos de inspección, limpieza, alineación y hermeticidad de formaletas antes de cada vaciado, garantizando así un producto final que responda a las solicitaciones estructurales definidas por el diseñador.

En este contexto, el manual incorpora las recomendaciones de los fabricantes de formaletas metálicas manoportables, sistemas de encofrado ampliamente utilizados en proyectos de vivienda en serie y muros de concreto reforzado, precisamente por su versatilidad, rapidez de ejecución y durabilidad. Estos sistemas modulares, conformados por bastidores metálicos de fácil ensamblaje manual, permiten mantener la uniformidad geométrica de los muros y un acabado superficial liso, lo cual reduce costos de repellos y acabados posteriores. Además, al no requerir grúas ni equipos pesados para su manipulación, favorecen la productividad en obra y disminuyen la inversión en equipos auxiliares.

Las formaletas metálicas manoportables ofrecen ventajas técnicas importantes que refuerzan su relevancia en proyectos que requieren precisión dimensional y repetitividad constructiva. Su carácter modular y maniobrable posibilita la construcción de muros, placas, vigas y columnas con un adecuado control de verticalidad y planeidad, aspectos esenciales para el desempeño estructural. El uso de tableros de contacto en madera o fenólico sobre el bastidor metálico garantiza un acabado uniforme del concreto, a la vez que prolonga la vida útil de la formaleta al evitar deformaciones prematuras. Sin embargo, los fabricantes insisten en que la durabilidad y el rendimiento de estos sistemas dependen de un mantenimiento riguroso, que incluya la limpieza inmediata posterior al desencofrado, la aplicación de desmoldantes adecuados y el almacenamiento en condiciones secas que eviten corrosión o deformaciones.

Finalmente, el manual enfatiza que la implementación de estas recomendaciones no debe ser vista únicamente como un procedimiento de control de calidad, sino como un requisito fundamental para la seguridad estructural y la sostenibilidad del proyecto. La precisión geométrica y el acabado del concreto obtenido con formaletas metálicas manoportables inciden directamente en la resistencia a la compresión de los muros y en su capacidad de disipar energía frente a eventos sísmicos. Asimismo, se contribuye a la optimización de recursos y a la

reducción de patologías constructivas asociadas a defectos de encofrado. Por tanto, la adecuada selección, montaje, mantenimiento y supervisión de las formaletas metálicas se constituyen en prácticas indispensables que este manual busca resaltar y sistematizar como parte de un proceso integral de aseguramiento de la calidad en obra.

Figura 8. *Desplomes de muros que exceden los criterios de aceptación de la NS-10.*

Nota: Fotografías producto del Contrato de Consultoría No 2991 de 2021 suscrito entre el municipio de Yopal y DICO Ingeniería y Arquitectura SAS. Informe técnico, Yopal. (2022).

Nota Importante: El presente manual incluye de manera explícita los requisitos de aceptación frente a los aspectos dimensionales y de desplome de muros y columnas estructurales, con el fin de garantizar que la ejecución en obra cumpla con los límites establecidos por el Reglamento NSR-10. Es fundamental señalar que una de las deficiencias constructivas más críticas evidenciadas en las torres de la cuarta etapa del proyecto Torres del Silencio correspondió a desplomes en muros de hasta 5 cm, valor completamente inadmisible para elementos de 2.40 m de altura. De acuerdo con el numeral C.6.5-1 “Tolerancias para superficies terminadas” del reglamento colombiano de construcción sismo resistente, la variación máxima permitida en muros y columnas estructurales es de 5 mm por cada 2 m de altura, lo cual significa que el límite de desplome para un muro de 2.40 m no debe superar los 6 mm.

El incumplimiento de estas tolerancias no solo afecta la estética y funcionalidad de los espacios, sino que compromete la capacidad resistente de los muros, introduce esfuerzos adicionales no previstos en el diseño y puede acelerar procesos de fisuración y deterioro. Por ello, el manual busca proporcionar parámetros claros de control y aceptación que deben ser verificados mediante supervisión técnica rigurosa en todas las etapas de la obra.

7.11. Recomendaciones sobre la correcta instalación del acero de refuerzo

Uno de los hallazgos más críticos identificados en el proyecto Torres del Silencio corresponde a la inadecuada instalación del acero de refuerzo, tanto en los muros de fachada como en las placas de entrepiso. En la mayoría de los casos, se observó la ausencia de distanciadores, lo cual provocó que la malla electrosoldada quedara apoyada directamente contra

la formaleta en lugar de posicionarse en el centro del espesor del muro, como lo establecen los planos de diseño estructural y la buena práctica constructiva. Esta deficiencia, compromete la seguridad estructural y la durabilidad de los elementos, generando efectos que afectan tanto el desempeño mecánico como la vida útil de la edificación.

El impacto de esta mala práctica es doble. En primer lugar, los muros se comportan en varios puntos como elementos de concreto simple, es decir, sin capacidad de trabajar adecuadamente a tracción, presentando un comportamiento frágil y reducida capacidad de disipación de energía. En segundo lugar, la falta de recubrimiento del refuerzo permitió que la cuadricula de la malla de 15 x 15 cm quedara marcada en la superficie de los muros, originando fisuras coincidentes con dicha geometría. Estas fisuras facilitaron el ingreso de agua lluvia, generando procesos de oxidación y corrosión en el acero de refuerzo. Como consecuencia, se produjo hinchamiento del acero y fisuración progresiva del concreto, configurando un proceso patológico que aumenta su severidad con el paso del tiempo y afecta un porcentaje significativo de los muros de fachada existentes en el proyecto urbanístico Torres del Silencio.

Figura 9. *Efectos de inadecuada instalación del refuerzo electrosoldado en placas de entrepiso.*

Nota: Fotografías producto del Contrato de Consultoría No 2991 de 2021 suscrito entre el municipio de Yopal y DICO Ingeniería y Arquitectura SAS. Informe técnico, Yopal. (2022).

A lo anterior se suma la inadecuada instalación del refuerzo corrugado en las cercanías de vanos de puertas y ventanas, donde se requiere un detallado cuidadoso para garantizar la continuidad estructural. La ausencia de este refuerzo o su incorrecta ubicación debilita los bordes de los vanos, zonas que por su naturaleza concentran esfuerzos y requieren un control especial. En este contexto, el manual enfatiza la necesidad de instalar de manera correcta los distanciadores en cantidad suficiente, asegurando que el acero cumpla con el recubrimiento mínimo exigido por la normativa, así como de reforzar adecuadamente los bordes de vanos, para evitar la aparición de lesiones y prolongar la durabilidad de la estructura.

7.12. Recomendaciones sobre la importancia del seguimiento técnico, interventoría y supervisión de las obras

La experiencia del proyecto Torres del Silencio evidenció de manera clara las consecuencias de una deficiente interventoría y falta de supervisión técnica independiente, factores que permitieron la repetición de errores constructivos graves y la ausencia de correctivos oportunos durante la ejecución de la obra. Situaciones como la mala instalación del acero de

refuerzo, los desplomes inadmisibles en los muros, la inadecuada instalación y mantenimiento de formaletas, así como la ausencia de un control efectivo sobre la calidad del concreto utilizado, pudieron haber sido detectadas y corregidas tempranamente mediante un seguimiento técnico riguroso y sistemático.

El manual resalta la importancia de que la interventoría y la supervisión técnica no se limiten a una labor administrativa o documental, sino que se constituyan en instancias activas de control de calidad, verificación normativa y garantizando la seguridad estructural. Un equipo de interventoría competente, junto con supervisores técnicos independientes, tiene la capacidad de garantizar que los diseños se materialicen correctamente en obra, que se cumplan los criterios establecidos por el Reglamento NSR-10 y que se adopten correctivos inmediatos frente a desviaciones constructivas. La supervisión de aspectos críticos como la correcta preparación, colocación y curado del concreto, el cumplimiento de la resistencia especificada (f'c), y la verificación del almacenamiento, manipulación y aceptación de materiales en obra, resulta determinante para asegurar la confiabilidad, habitabilidad y sostenibilidad de los proyectos de vivienda.

7.13. Recomendaciones frente a otro tipo de lesiones

En el proyecto Torres del Silencio se evidencian múltiples lesiones adicionales como fisuras, grietas, desprendimientos, humedades, suciedades, ataques biológicos, entre otras, que reflejan deficiencias acumuladas en el proceso constructivo; sin embargo, el presente manual centra su atención en aquellos aspectos más relevantes que pudieron haberse prevenido si la construcción se hubiera ejecutado bajo criterios técnicos adecuados, especificaciones constructivas más estrictas y un control de calidad riguroso, complementado con una supervisión e interventoría independientes y eficientes, cuyo propósito es garantizar la durabilidad, funcionalidad y seguridad de las edificaciones.

Asimismo, este manual deja abierta la posibilidad de ser ampliado y complementado en futuras versiones, con el fin de fortalecer su alcance e impacto dentro del gremio de la construcción en Colombia. El objetivo es que sirva como una herramienta dinámica que, desde un enfoque preventivo, contribuya a elevar la calidad de los procesos constructivos y a reducir la recurrencia de casos similares al de Torres del Silencio, fomentando una cultura de responsabilidad técnica, buenas prácticas y cumplimiento estricto de la normativa vigente en beneficio de la seguridad y confianza de los usuarios finales.

8. Discusión de los resultados

La elaboración de la Versión 1 del *Manual de Prevención, Evaluación y Rehabilitación de Lesiones en Edificaciones Residenciales con Sistema Estructural de Muros de Carga en Concreto Reforzado* permitió llegar a varias reflexiones sobre la pertinencia y el alcance del documento. Si bien la normativa colombiana, en particular el Reglamento NSR-10 (AIS, 2010) y las Normas Técnicas Colombianas NTC (ICONTEC, 2016), constituyen el marco técnico principal, se observa la ausencia de instrumentos gráficos y didácticos que brinden orientaciones prácticas enfocadas en la prevención y en la gestión de lesiones estructurales durante la vida útil de este tipo de edificaciones. Esta carencia resulta especialmente significativa considerando que, según cifras del DANE, cerca del 50% de las viviendas de interés social (VIS) y de interés prioritario (VIP) en el país se construyen con el sistema de muros de carga en concreto reforzado.

El desarrollo de la primera versión del manual permitió constatar que los vacíos existentes no se limitan únicamente a la normativa nacional, sino también a la escasa disponibilidad de literatura técnica aplicada a la realidad constructiva local. En este sentido, la propuesta elaborada se posiciona como un insumo complementario a la reglamentación, sin sustituirla, pero sí aportando lineamientos claros que pueden ser de utilidad para ingenieros, arquitectos y demás profesionales asociados al gremio de la construcción. Lo que se discute aquí no es su suficiencia absoluta de la primera versión del manual, sino su potencial como herramienta didáctica y de consulta que articula la teoría normativa con experiencias prácticas de diagnóstico, intervención y mantenimiento.

Un aspecto central identificado es la necesidad de garantizar la actualización periódica del manual, pues la experiencia internacional muestra que normativas como el American Concrete Institute (ACI, 2025) en la que se apoya el Reglamento NSR-10 (AIS, 2010), han tenido múltiples actualizaciones desde 2008, mientras que la reglamentación colombiana mantiene una periodicidad mucho mayor en sus ajustes, lo cual genera limitaciones que pueden hacer que la normativa nacional quede rezagada frente a los avances internacionales en diseño, rehabilitación y seguridad estructural. Por ello, el manual discutido en esta monografía debe concebirse como un documento dinámico, en constante revisión, que integre progresivamente las actualizaciones de referentes como el American Concrete Institute (ACI, 2025) y el Euro código 2 ((European Committee for Standardization [CEN], 2023), así como los desarrollos académicos y técnicos producidos en el país.

Cabe destacar que esta primera versión del manual se orientó con mayor énfasis hacia los aspectos preventivos, en tanto que la dimensión correctiva -particularmente la rehabilitación- demanda un estudio más exhaustivo que muchas veces debe ser realizado por grupos interdisciplinarios de profesionales especializados. En el ámbito de la patología de la construcción, una misma manifestación visible, como una fisura o una grieta, puede tener múltiples orígenes asociados a diferentes causas estructurales, constructivas, reológicas o de deterioro de materiales. En consecuencia, los procedimientos de reparación no pueden

estandarizarse de manera absoluta, pues siempre deben partir de la identificación y solución de la causa raíz antes de atender el síntoma visible. Esto implica que el manual no puede interpretarse como una "receta" única para la intervención de lesiones; por el contrario, se plantea como una guía conceptual y metodológica que oriente a los profesionales hacia un diagnóstico riguroso y a la selección de la estrategia de reparación más adecuada. Para efectos prácticos, ya existen catálogos comerciales de reparación y sellado de fisuras elaborados por empresas especializadas como Sika, Toxement, BASF, MAPEI y Euclid Chemical, entre otras, cuya consulta puede complementar las orientaciones generales aquí planteadas.

Otra reflexión relevante se deriva de las condiciones bajo las cuales se produjo el manual. El ejercicio académico estuvo delimitado por el tiempo disponible para a entrega, la extensión máxima de la monografía (40 páginas) y el alcance definido por los lineamientos curriculares. Estas condiciones restringieron la posibilidad de profundizar en aspectos como estudios de caso más amplios, validaciones empíricas en campo o la incorporación de metodologías experimentales de diagnóstico. Sin embargo, lejos de constituir una limitación insalvable, esta situación abre la posibilidad de que el manual sea fortalecido en el futuro con la participación de grupos de investigación, docentes y estudiantes de programas de especialización y maestría en patología de la construcción de la Universidad Santo Tomás. De esta manera, lo que aquí se presenta puede ser entendido como un primer paso que sienta las bases para un documento más robusto y completo, de mayor alcance técnico y con un impacto tangible en el gremio de la construcción colombiana.

Finalmente, el desarrollo de la primera versión del manual genera aprendizajes sobre la relación entre la teoría y la práctica constructiva en Colombia. La revisión del caso de estudio permitió reconocer que, en contextos donde los daños estructurales alcanzan niveles críticos, la relación costo–beneficio de una rehabilitación puede volverse desfavorable, al punto de justificar la demolición y reconstrucción de la edificación. Este hecho resalta la importancia de contar con mecanismos preventivos que permitan intervenir de forma temprana, evitando que las lesiones progresen hasta un punto en el que la única alternativa viable sea la sustitución completa de la estructura. El manual, en su versión inicial, busca aportar precisamente a esta cultura de prevención, promoviendo un enfoque integral que priorice la seguridad, la sostenibilidad y la eficiencia económica.

En síntesis, la discusión de los resultados permite concluir que el manual elaborado, en su primera versión, constituye un avance relevante en el abordaje de un sistema constructivo ampliamente utilizado en Colombia y tradicionalmente desatendido en cuanto a orientaciones prácticas de prevención, evaluación y rehabilitación. No obstante, su verdadero impacto dependerá de su actualización continua, de la articulación con la normativa nacional e internacional y de su fortalecimiento mediante aportes académicos e investigativos que lo conviertan en una guía cada vez más rigurosa y aplicable a la realidad constructiva del país.

9. Conclusiones y Recomendaciones

El desarrollo de esta monografía permitió consolidar versión inicial del *Manual de prevención, evaluación y rehabilitación de lesiones en edificaciones residenciales con sistema estructural de muros de carga en concreto reforzado*, concebido como una herramienta de consulta y aplicación práctica para que ingenieros y arquitectos vinculados al sector de la construcción desarrollen sus actividades previniendo la ocurrencia de daños y lesiones como las vistas en el caso de estudio, en el cual, la cantidad y la severidad de los daños presentes en las edificaciones se reflejó en el hecho de que la demolición y construcción de una obra nueva, resultó ser más viable técnica y económicamente que la realización de procesos de reforzamiento y rehabilitación estructural.

El manual desarrollado representa un aporte pionero dentro del contexto colombiano, al abordar un sistema constructivo ampliamente utilizado en viviendas VIS y VIP a nivel nacional, que hasta la fecha carecía de orientaciones prácticas y didácticas para la prevención, la evaluación y la intervención de daños y lesiones constructivas.

El manual elaborado no pretende sustituir la normativa vigente, en especial el Reglamento NSR-10 (AIS, 2010) ni las Normas Técnicas Colombianas NTC (ICONTEC, 2016), sino constituirse en un complemento práctico que facilite su aplicación en el ejercicio profesional. Su carácter gráfico, didáctico y metodológico refuerza la comprensión de los conceptos normativos y ofrece un puente entre la teoría y la práctica constructiva.

El presente manual, elaborado en el marco de la Monografía en Patología de la Construcción de la Universidad Santo Tomás, constituye una herramienta de apoyo académico y técnico orientada a la comprensión y análisis de las patologías en edificaciones. Su contenido tiene carácter referencial y debe aplicarse bajo criterio técnico especializado, por profesionales idóneos y con experiencia comprobada, quienes sustenten sus decisiones en observaciones de campo, ensayos de laboratorio, análisis estructurales y cálculos fundamentados. Los autores y la Universidad Santo Tomás no asumen responsabilidad por interpretaciones erróneas o aplicaciones inadecuadas del manual que no cuenten con el debido respaldo técnico y profesional.

10. Referencias

- American Concrete Institute. (2025). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-25) and commentary*. Farmington Hills, MI: ACI.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *ASCE/SEI 41-17: Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*. ASCE.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2001). *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo resistente de viviendas de mampostería*. AIS.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2024). *AIS 100-24: Diseño y construcción de edificaciones sismo resistentes*. AIS.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) & Fundación Corona. (ca. 2000). *Manual de construcción sismo-resistente de viviendas en bahareque encementado*. AIS.
- Colombia. (1984). *Decreto-ley 1400 de 1984, por el cual se adopta el Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes*. Ministerio de Obras Públicas.
- Colombia. (1997). *Ley 400 de 1997, por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes*. Congreso de la República.
- Colombia. (1998). *Decreto 33 de 1998, por el cual se adopta el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes NSR-98*. Ministerio de Desarrollo Económico.
- Colombia. (1999). *Decreto 34 de 1999, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 33 de 1998*. Ministerio de Desarrollo Económico.
- Colombia. (2000). *Decreto 2809 de 2000, por el cual se modifica el Decreto 33 de 1998*. Ministerio de Desarrollo Económico.
- Colombia. (2008). *Ley 1229 de 2008, por la cual se modifican y adicionan normas a la Ley 400 de 1997*. Congreso de la República.
- Colombia. (2010a). *Decreto 926 de 2010, por el cual se adopta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Colombia. (2010b). *Decreto 2525 de 2010, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 926 de 2010*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Colombia. (2011). *Decreto 92 de 2011, por el cual se modifica el Decreto 926 de 2010*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Colombia. (2012). *Decreto 340 de 2012, por el cual se modifica el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Colombia. (2016). *Ley 1796 de 2016, por la cual se establecen medidas en materia de responsabilidad de los constructores y la protección de los compradores de vivienda*. Congreso de la República.

- Colombia. (2017). *Decreto 945 de 2017, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1796 de 2016 y se modifican disposiciones del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Colombia. (2019). *Decreto 2113 de 2019, por el cual se modifica el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Colombia. (2021). *Decreto 1711 de 2021, por el cual se modifican disposiciones del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Colombia. (2023a). *Decreto 1401 de 2023, por el cual se modifica parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Colombia. (2023b). *Decreto 1580 de 2023, por el cual se modifica y adiciona el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- DICO Ingeniería y Arquitectura SAS. (2022). *Resultados del Contrato de Consultoría No 2991 de 2021 suscrito con el municipio de Yopal*. Informe técnico, Yopal.
- DICO Ingeniería y Arquitectura SAS. (2024). *Resultados del Contrato de Consultoría No 152 de 2023 suscrito con el INDEV*. Informe técnico, Yopal.
- ICONTEC. (2016). *Normas técnicas colombianas (NTC)*. Bogotá: ICONTEC.
- European Committee for Standardization. (2023). *EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. Brussels, Belgium: CEN.
- Federal Emergency Management Agency. (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures (FEMA 440)*. U.S. Department of Homeland Security.
- Forsa S.A.S. (s. f.). *Construcción industrial FORSA* [Folleto técnico]. Autor.
- Forsa S.A.S. (s. f.). *Elegir encofrados* [Folleto técnico]. Autor.
- Forsa S.A.S. (s. f.). *Instalación de cajas eléctricas* [Folleto técnico]. Autor.
- Instituto del Cemento Portland Argentino. (2022). *Manual de vivienda de concreto industrializada en sitio (Versión final)*. Autor.
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (1985). *Construcciones sismo-resistentes: Manual técnico de capacitación*. SENA.
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (s. f.). *Construcciones sismo-resistentes: Manual para instructores*. SENA.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2021). *Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes de mampostería confinada de uno y dos pisos*. UNGRD.
- Universidad Piloto de Colombia. (2020). *Manual de diseño y construcción sismo-resistente para casas de uno y dos pisos en mampostería confinada* [Trabajo de grado]. Repositorio Institucional Universidad Piloto de Colombia.