Propuesta de buenas prácticas en la revisión del componente estructural de proyectos de construcción de edificios

Mauricio Fernando Eraso Portilla, Meiry Katiana Cañizares Ramos

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Interventoría y Supervisión de la Construcción

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción

2024

Dedicatoria

Meiry Cañizares

Dedico este trabajo, principalmente a Dios, quien me ha dado sabiduría y discernimiento para afrontar cada propósito de mi vida. A mis padres Rosana y Pablo, mi hermano Juan Pablo que con su amor y su apoyo incondicional siempre me dan ánimo para cumplir con éxito mis proyectos, a mi esposo Gustavo, por entenderme, motivarme y apoyarme durante todo este tiempo. A todos ustedes mi más grande gratitud por estar siempre presentes en las dificultades, porque fueron ustedes mi motivación y mi fuente para seguir adelante y hoy poderles exponer el resultado de mi esfuerzo y dedicación.

Mauricio Eraso

Dedico este trabajo, forjado con esfuerzo y sacrificio, inicialmente al creador de la vida, quién ha puesto las herramientas en mi mano y me ha bendecido grandemente, para que yo pueda ser quien soy el día de hoy. A mi amada esposa Alicia, quien me ha sabido apoyar, entender y concederme el valioso tiempo que debí haber compartido con ella y con mi familia, a fin de lograr este propósito. A mi hija Marcela, quien siempre ha apoyado todas mis locuras y proyectos. A mis padres, Myriam y Milton, quienes forjaron en mí este carácter luchador e inconforme. Para todos ustedes, mi más profundo respeto, mi más grande admiración y mi entrega indefinida.

Agradecimientos

Queremos agradecer primeramente a Dios por permitirnos culminar con éxito este nuevo logro para nuestra vida profesional y por regalarnos sabiduría en cada etapa de este proceso educativo. También queremos agradecer a nuestras familias, por todo su apoyo y comprensión durante el transcurso de todo este tiempo.

Agradecemos especialmente al Ingeniero Homer Buelvas quien, como nuestro director de esta monografía, nos acompañó y guio acertadamente durante todo el proceso; también queremos agradecer a todos los docentes de la Universidad Santo Tomás, sede Bucaramanga, quienes nos compartieron su conocimiento y nos brindaron acompañamiento durante el transcurso de esta especialización.

Contenido

Introducción 15

1 Propuesta de buenas prácticas en la revisión del componente estructural de proyectos de construcción de edificios 17

2. Objetivos 17

2.1. Objetivo general 17

2.2. Objetivos específicos 17

3. Justificación 18

4. Marco referencial 20

4.1. Antecedentes 20

4.1.1. Código colombiano de construcciones sismo resistentes 20

4.1.2. Problemas en el diseño y construcción del Edificio Space 22

4.1.3. Problemas constructivos del Edificio Bernavento 28

4.1.4. Caso del Edificio Blas de Lezo II 30

4.1.5. Caso del edificio Asensi y Continental Towers 32

4.1.6. Otros Edificios con problemas estructurales en la ciudad de Medellín 33

4.1.7. Edificio Escollera de Cartagena 34

4.2. Marco legal 39

4.3. Marco teórico 42

4.3.1 Ley de vivienda segura 43

4.3.2 Certificado técnico de ocupación 46

4.4. Marco conceptual 49

4.4.1 Grupos de uso 49

4.4.2 Control urbano 51

4.4.3 Constructor 51

4.4.4 Diseñador arquitectónico 51

4.4.5 Diseñador estructural 52

4.4.6 Diseñador de los elementos no estructurales 52

4.4.7 Revisión de oficio 52

4.4.8 Revisión independiente de los diseños de elementos no estructurales 52

4.4.9 Edificación 53

4.4.10 Estructura 53

4.4.11 Licencia de construcción 53

4.4.12 Especificaciones técnicas 54

4.4.13 Competencias técnicas 54

4.4.14 La incompetencia técnica 54

4.4.15 Habilidades interpersonales 55

4.4.16 Valores y actitudes 55

4.4.17 Concreto 55

4.4.18 Concreto estructural 56

4.4.19 Concreto simple 56

4.4.20 Concreto reforzado 56

4.4.21 Mampostería reforzada 56

4.4.22 Mampostería no reforzada 57

4.4.23 Mampostería de muros confinados 57

4.4.24 Acero estructural 57

5. Alcance 58

6. Método 59

7. Resultados 62

7.1 Componentes prácticos de la revisión del componente estructural por parte de diseñadores, ejecutores y supervisores con experiencia y conocimientos en diseño estructural. 62

7.2 Aspectos de la revisión estructural en los que se presentan dudas o falencias con base en literatura y casos de estudio. 74

7.3 Propuesta de Variables de revisión estructural en un proyecto de edificación 77

7.4 Propuesta de alcance de revisión del componente estructural 90

8. Conclusiones 101

9. Recomendaciones 102

Referencias 103

Lista de tablas

Tabla 1. *Resumen de situaciones encontradas y causas probables en el componente de geotecnia* 75

Tabla 2. *Resumen de situaciones encontradas y causas probables en el componente de diseño estructural* 75

Tabla 3. *Resumen de situaciones encontradas y causas probables en el componente de construcción* 76

Tabla 4. *Errores detectados en el Edificio Space* 78

Tabla 5. *Errores detectados en el Edificio Bernavento* 80

Tabla 6. *Errores detectados en el Edificio Blas de Lezo II* 81

Tabla 7. *Errores detectados en el Edificio Asensi* 82

Tabla 8. *Errores detectados en el Edificio Continental Towers* 83

Tabla 9. *Errores detectados en el Edificio Kampala* 85

Tabla 10. *Errores detectados en el Edificio Torre La Escollera* 86

Tabla 11. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 1* 92

Tabla 12. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 2* 92

Tabla 13. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 3* 93

Tabla 14. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 4* 93

Tabla 15. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 5* 94

Tabla 16. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 6* 95

Tabla 17. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 7* 95

Tabla 18. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 8* 96

Tabla 19. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 9* 96

Tabla 20. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 10* 96

Tabla 21. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 11* 97

Tabla 22. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 12* 97

Tabla 23. *Capítulo A.1.3.5* 98

Tabla 24. *Capítulo A.1.3.6* 99

Tabla 25. *Requisitos y documentos adicionales* 100

Lista de figuras

Figura 1. *Ubicación de la columna R3 en la torre 6 edificio Space* 23

Figura 2. *Ubicación de la columna S5 en la torre 6 edificio Space* 25

Figura 3. *Portada del Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes* 39

Figura 4. *Portadas de los Tomos 1 y 2 de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente* 40

Figura 5. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR10 (Versión 1)* 41

Figura 6. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Versión 2)* 41

Figura 7. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Versión 3)* 42

Figura 8. *Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de zonificación sísmica del Capítulo A.2* 62

Figura 9. *Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de valores de Aa y Av del Capítulo A.2* 63

Figura 10. *Procedimiento para obtener los movimientos sísmicos de diseño* 64

Figura 11. *Sistemas estructurales de resistencia sísmica* 64

Figura 12. *Materiales estructurales* 65

Figura 13. *Definición de la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico* 66

Figura 14. *Restricciones al uso de sistemas y materiales estructurales* 66

Figura 15. *Procedimiento para definir el grado de irregularidad de la estructura y el método de análisis sísmico* 67

Figura 16. *Procedimiento para obtener las fuerzas sísmicas de diseño* 68

Figura 17. *Paso 6 y 7 Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de análisis de la estructura* 68

Figura 18. *Procedimiento de verificación de las derivas* 69

Figura 19. *Procedimiento de obtención del coeficiente de disipación de energía R* 71

Figura 20. *Procedimiento de obtención de las fuerzas mayoradas de diseño* 71

Figura 21. *Procedimiento de obtención de las fuerzas en la cimentación y los esfuerzos sobre el suelo* 72

Figura 22. *Procedimiento de diseño de los elementos no estructurales* 72

Figura 23. *Revisión de los diseños* 73

Figura 24. *Construcción y Supervisión Técnica Independiente* 73

Figura 25. *Falla en Columna - Edificio Space* 78

Figura 26. *Desprendimiento de concreto en columna - Edificio Space* 79

Figura 27. *Falla en columna desde el interior de apartamento Edificio Space* 79

Figura 28. *Fallas en la estructura que se manifiestan como grietas – Edificio Bernavento* 81

Figura 29. *Edificio Blas de Lezo II / Escombros del Edificio* 82

Figura 30. *Edificio ASENSI* 82

Figura 31. *Fallas estructurales en fachada – Continental Towers* 83

Figura 32. *Fallas en dinteles – Continental Towers* 83

Figura 33. *Grietas – Continental Towers* 84

Figura 34. *Fallas estructurales edificio Continental Towers* 84

Figura 35. *Deformaciones de placas de piso – Continental Towers* 85

Figura 36. *Fisuras y grietas Edificio Kampala*..... 86

Figura 37. *Deformación de la Torre de la Escollera*..... 87

Figura 38. *Fractura vertical soldadura columna – Torre la Escollera*..... 88

Figura 39. *Pandeo y rotura vertical – Torre la Escollera*..... 88

Figura 40. *Sistema de nudos – Torre la Escollera*..... 89

Figura 41. *Desplazamiento Torre Escollera – Torre la Escollera*..... 89

Lista de apéndices

Apéndice A. *Listado de chequeo para la revisión del componente estructural de proyectos de construcción de edificios*

Nota: véase archivo en fuente externa

Resumen

El siguiente documento de investigación presenta una propuesta de criterios de aplicación y buenas prácticas en la revisión del componente estructural de proyectos de construcción de edificios, basado en la búsqueda bibliográfica de casos de estudio, sin pretender reemplazar ningún documento de revisión o replantear elementos de diseño, sino como un apoyo alternativo a las funciones del director de diseño estructural, diseñador estructural, revisor de diseños estructurales o director de un proyecto de construcción de edificios con experiencia y conocimientos en diseño estructural. Los casos icónicos de estudio de los proyectos con fallas en componentes estructurales, como el caso del Edificio Space, Edificio Bernavento, Edificio Blas de Lezo II, Edificio Asensi, Edificio Continental Towers, Edificio Kampala y Edificio Torre La Escollera, presentan lecciones aprendidas sobre los problemas estructurales que han generado mejoras en la normativa y herramientas nuevas en la revisión estructural. En este documento se propone tomar la información base para, desde la experiencia de los autores, se proponga una herramienta adicional a las existentes, que resuman algunos criterios del reglamento NSR-10 y la literatura, y que permita apoyar la labor del diseñador, revisor o consultor en la revisión del componente estructural de proyectos de construcción de edificios.

Palabras calves: revisión, especificaciones técnicas, procesos constructivos, control de planos.

Abstract

The following research document presents a proposal for application criteria and good practices in the review of the structural component of building construction projects, based on a bibliographic search for case studies, without intending to replace any review document or rethink design elements, but as an alternative support to the functions of the structural design director, structural designer, structural design reviewer or director of a building construction project. The iconic case studies of projects with failures in structural components, such as the Space Building, Bernavento Building, Blas de Lezo II Building, Asensi Building, Continental Towers Building, Kampala Building and Torre La Escollera Building, present lessons learned about structural problems that have generated improvements in the regulations and new tools in structural review. This document proposes to take the base information and, from the experience of the authors, propose an additional tool to the existing ones, which summarizes some criteria of the NSR-10 regulation and the literature, and which allows supporting the work of the designer, reviewer or consultant in the review of the structural component of building construction projects.

Keywords: review, technical specifications, construction processes, plan control.

Introducción

Los códigos de construcción han venido evolucionando debido a las condiciones actuales de los proyectos y al avance tecnológico en la revisión estructural. En Colombia se está pasando de usar solo el criterio del ingeniero diseñador hasta adoptar normas extranjeras (ACI, AISC, entre otras), para la formulación de códigos propios aplicables adaptándolas a los diseños estructurales. La normatividad que tenemos hoy en día, que a pesar de que es basada en las normas americanas principalmente, ya cuenta con muchos estudios locales y técnicos, realizados por profesionales idóneos y serios, que buscan ajustar los diseños a las condiciones propias de nuestra región, entre las cuales podemos mencionar condiciones sísmicas, de viento, de suelos, de usos, entre otras. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Bogotá D.C., Colombia).

En los recientes años, las entidades gubernamentales han realizado esfuerzos técnicos y administrativos en procura de que la normatividad sea de estricto cumplimiento, y más considerando que el reglamento actual de Colombia, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, es una ley de la república de Colombia (Ley 400 de 1997), obligando a que los diseñadores estructurales y los profesionales encargados de las revisiones de los diseños estructurales, tengan la experiencia, información y conocimiento adecuado para la correcta ejecución de los proyectos estructurales.

Hitos de malas prácticas de diseño en Colombia abundan en la literatura, pero la concurrencia de estos hechos obliga al investigador en temas de diseño y revisión estructural a evaluar todo el proyecto desde el punto de vista normativo apoyándose en documentos de buenas prácticas técnicas. Es el caso del edificio Space en la ciudad de Medellín, donde por una mezcla de desconocimiento e incumplimiento de normatividad generó una tragedia que cobró vidas

humanas, afectó intereses patrimoniales y dejó a muchas familias a la deriva (Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería, 2014). Por otro lado, el caso del edificio Blas de Lezo II, que fue diseñado y calculado para construir cuatro plantas y al momento de la eventualidad (colapso), había sido construido en seis plantas, sobrepasando los cálculos estructurales y el Reglamento Sismo Resistente del 2010 (NSR-10). Además, las bases del edificio fueron socavadas después de encontrarse construidas para dar paso a un semi sótano de parqueo que no estaba contemplado en el diseño original (Madariaga, 2019, p.54).

El caso del edificio Space y el caso del edificio Blas de Lezo II, plantean que la revisión estructural debe realizarse en varias etapas de los proyectos y no solo durante el diseño de oficina, la normatividad debe ser de estricto cumplimiento también en la etapa de construcción y para ello requiere una propuesta de buenas prácticas donde la revisión permita el control de componente de diseño de estructuras generando alertas de ajuste o actualización.

Esta investigación, por tanto, busca dar a conocer las buenas prácticas para realizar una revisión de los diseños estructurales basados en algunas variables de casos de estudios y de construcción actuales sin reemplazar la normativa existente o los documentos guía de estructuras, pero si planteando unas pautas o ayudas para que los revisores estructurales puedan realizar un estudio detallado, ayudado por un mayor número de requisitos y premisas que se ajustan a los requerimientos que exige la normatividad vigente y el buen criterio experimental del ingeniero estructural.

1 Propuesta de buenas prácticas en la revisión del componente estructural de proyectos de construcción de edificios

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Proponer un documento de buenas prácticas, basados en la revisión bibliografía y casos de estudio, para la revisión del componente estructural de proyectos de construcción de edificios.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar un resumen de las variables que intervienen en la revisión del componente estructural, las cuales deben realizar los diseñadores estructurales, las empresas constructoras y los entes de control.
- Realizar un resumen de los aspectos de la revisión estructural con base en la literatura y los casos de estudio, en los que se presentan dudas o falencias.
- Proponer un listado de variables de revisión estructural en un proyecto tipo edificación que involucre planos y elementos constructivos.

3. Justificación

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, en el título I (Supervisión Técnica), determina en muchos de sus capítulos la importancia de la revisión de planos arquitectónicos y estructurales por parte del supervisor técnico independiente. A continuación, se nombra, a manera de justificación, algunos apartes del reglamento, donde se menciona la importancia de la revisión de planos estructurales.

"I.2.2.2 Suscripción por parte del supervisor técnico independiente de los planos finales de cimentación y estructura de la obra (planos récord). Con anterioridad a la expedición del Certificado Técnico de Ocupación, el Supervisor Técnico Independiente debe suscribir los planos finales de cimentación y estructura de la obra (planos récord), (véase su definición en A.13.1), actualizados por el constructor responsable, en los cuales se registra la cimentación y estructura de la edificación tal como quedó construida definitivamente e incorporan todas las modificaciones que se realizaron en el desarrollo de la obra. Incluyen el estudio geotécnico actualizado, cuando hubo variaciones en la cimentación y los planos estructurales de la edificación. El Supervisor Técnico Independiente debe suscribir, antes de emitir el Certificado Técnico de Ocupación, los planos finales de cimentación y estructura de la obra (planos record) como constancia de que autorizó las modificaciones realizadas y se abstendrá de hacerlo en los casos en los cuales las modificaciones no hayan sido aprobadas por el curador urbano o la autoridad municipal o distrital competente, como una modificación a la licencia de construcción original."

"I.2.3 Alcance de la supervisión técnica independiente

(e) Exigir al diseñador estructural el complemento o corrección de los planos estructurales, cuando estos estén incompletos, indefinidos o tengan omisiones o errores."

“I.4.3.1 Control de planos: de los planos recomendado, para los dos grados de supervisión técnica independiente, debe consistir, como mínimo, en los siguientes aspectos:

(a) Grado de definición (completo o incompleto)

(b) Definición de dimensiones, cotas y niveles

(c) Consistencia entre las dimensiones, cotas y niveles

(d) Consistencia entre las diferentes plantas, alzados, cortes, detalles y esquemas

(e) Adecuada definición de las calidades de los materiales

(f) Cargas de diseño debidamente estipuladas

(g) En casos especiales, instrucciones sobre obra falsa, procedimientos de control de colocación del concreto, procedimientos de descimbrado, colocación del concreto, aditivos, tolerancias dimensionales, niveles de tensionamiento

(h) Coordinación de los planos arquitectónicos con los demás planos técnicos

(i) Definición en los planos arquitectónicos del grado de desempeño de los elementos no estructurales

(j) En general, la existencia de todas las indicaciones necesarias para poder realizar la construcción de una forma adecuada con los planos del proyecto

“I.4.3.8.1 Contenido mínimo de la Certificación Técnica de Ocupación - La Certificación Técnica de Ocupación, debe contener como mínimo lo siguiente:

(f) Respecto a los planos utilizados en la construcción: Se deben relacionar los planos arquitectónicos, estructurales, y el estudio geotécnico, indicando la cantidad de planos, fecha de elaboración y autor, y la licencia de construcción bajo la cual fueron aprobados. Si hubo modificaciones que afectaron la cimentación y estructura, se debe indicar la licencia de construcción que autorizó las modificaciones y los cambios efectuados. El Supervisor Técnico

Independiente debe declarar si revisó y autorizó con su firma los planos finales de cimentación y estructura de la obra (planos récord), indicando la cantidad, fecha de autorización y licencia de construcción bajo la cual las modificaciones fueron autorizadas por el curador urbano o autoridad municipal o distrital encargada de la expedición de licencias.

4. Marco referencial

4.1. Antecedentes

En el proceso de estudio de la información sobre la revisión estructural para diseños, se han realizado investigaciones con el fin de detectar cuáles son los errores que se pueden presentar al momento de hacer una revisión estructural.

La norma que rige actualmente el diseño y construcción en Colombia es el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, el cual es creado por la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, creada a su vez por la ley 400 de 1997.

Con base en lo anterior, se hará un breve recuento del proceso histórico de dicho reglamento, a fin de entender la importancia que tiene en el ejercicio profesional de la construcción en nuestro país.

4.1.1. Código colombiano de construcciones sismo resistentes

El Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes expedido por medio del Decreto/Ley 1400 de 1984 fue un primer intento de normalización del diseño de estructuras en el medio nacional y estuvo vigente durante 14 años. Después, fue aprobada por el Congreso de la República la Ley 400 de 1997, al amparo de la cual se expidieron los Reglamentos de Construcción

Sismo Resistente NSR-98 (1998), que substituyó al Código de 1984, y la actualización expedida en el 2010 como Reglamento NSR-10, hoy vigente.

Cabe mencionar que el reglamento NSR-10 ha sufrido bastantes modificaciones desde su expedición, una de ellas, quizá la más importante, es la Ley 1796 del 13 de julio de 2016 que establece medidas enfocadas a la protección del comprador de vivienda, el incremento de la seguridad de las edificaciones y el fortalecimiento de las actividades en la Función Pública que ejercen los curadores urbanos y se asignan unas funciones a la Superintendencia de Notariado y Registro. Esta nueva ley surge como protección a los compradores de inmuebles nuevos, luego de lo sucedido con el edificio Space en Medellín, entre otras causas a inconsistencias en el diseño estructural, según conclusiones de la investigación desarrollada por varios entes académicos. De ahí surgen algunos aspectos como la revisión independiente de los diseños estructurales y la supervisión técnica independiente. (Ley 1796, 2016)

Concluye, que como es de entero conocimiento desde el mismo momento en que el ser humano comenzó a organizarse creando proyectos de obras, constituyendo empresas, ha sido la supervisión la que le ha generado el éxito en las ganancias, tiempo, desarrollo, etc. Además, ha brindado a las personas un alto grado de confiabilidad puesto que la supervisión es el ejercicio de controlar, planificar, direccionar y organizar, como también en los últimos años ha venido innovando nuevas técnicas que minimizan y optimizan el trabajo en una empresa o en un proyecto de construcción. Además, se viene ejerciendo la supervisión de obra de una manera desordenada y en los procesos constructivos se han venido presentando muchas inconsistencias por parte de los supervisores y constructores (Pérez, 2009, p.66).

El análisis de una estructura tiene como vital importancia determinar la respuesta de la misma cuando ésta se ve sometida a las diferentes acciones que se debe tener en cuenta durante su

construcción y su tiempo estimado de vida. En la ingeniería civil, se ha encontrado gran variedad en el aprendizaje de las características básicas de los materiales y su dominio en las estructuras que se quieren formar.

4.1.2. Problemas en el diseño y construcción del Edificio Space

La edificación del conjunto residencial Space, presentó problemas de asentamientos diferenciales los cuales fueron atendidos mediante intervenciones en la cimentación en agosto de 2013. Otros problemas estructurales fueron apreciados. El día viernes 11 de octubre de 2013 en horas de la mañana los habitantes del Edificio Space se contactaron con el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGRD) debido a que una columna de la Etapa 6 había fallado. Esta entidad observó los problemas y la falla estructural de la columna, por lo tanto, decidió evacuar la etapa 6 del Edificio Space.

Según el concepto técnico en relación a las causas más probables del colapso del edificio Space, entregado por la Universidad de los Andes, en su informe final Fase III, en octubre del año 2014, ya se venían presentando evidencias de fallas y patologías en la edificación desde la etapa de su construcción, las cuales se evidenciaron en las bitácoras de obra y demás documentos del estudio.

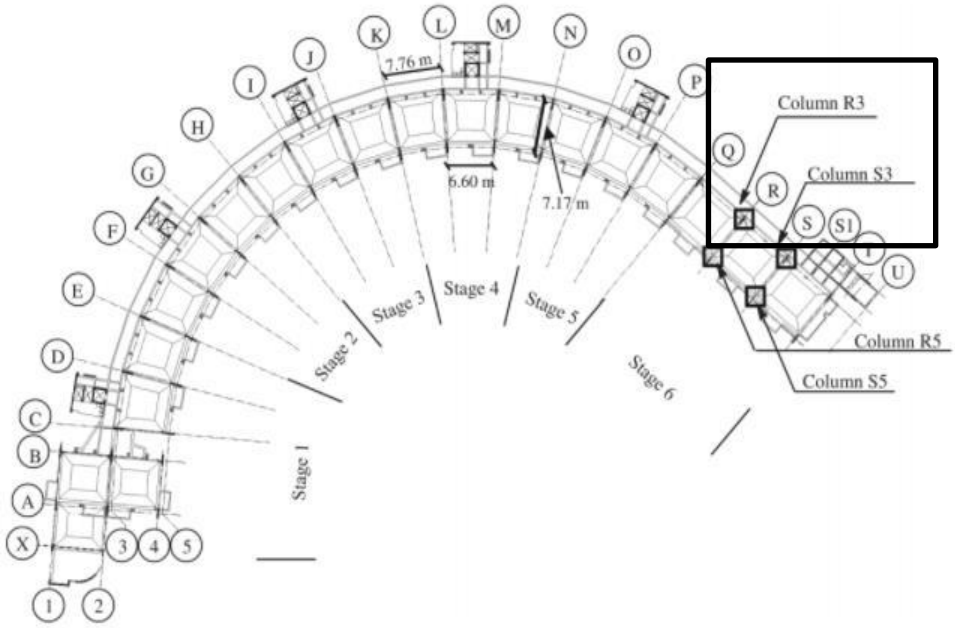
El sábado, 12 de octubre de 2013, la torre 6 del edificio Space colapsó cerca de las 7 de la noche, dejando un saldo trágico de 12 personas fallecidas y posteriormente, en un hecho histórico en Colombia, la Alcaldía de Medellín decretó a fines de enero de 2014 la demolición total del Space, tras las conclusiones de un estudio estructural encargado a la Universidad de los Andes: las torres 4 y 5 corrían el mismo peligro de derrumbe cobrando nuevas víctimas.

Causas probables del colapso: la alcaldía de Medellín contrató un estudio con la Universidad de Los Andes, a fin de determinar las causas más probables del colapso del edificio

Space. Dicho estudio arrojó como resultados, a manera de resumen, una serie de condiciones estructurales y geotécnicas que podrían explicar el colapso del edificio, a saber:

- Deficiencia en el dimensionamiento y diseño de elementos estructurales principales.
- Sobrecargas extraordinarias en la edificación.
- Deficiencia en las propiedades de materiales de construcción.
- Ocurrencia de asentamientos diferenciales en la estructura.
- Redistribución interna de fuerzas por deformaciones excesivas o problemas de flujo plástico de los materiales estructurales bajo cargas permanentes.
- Redistribución de fuerzas o esfuerzos en los elementos estructurales por trabajos o intervenciones a los elementos estructurales principales.
- Asentamientos excesivos de las columnas que generaron asentamientos diferenciales significativos, los cuales, a su vez, tuvieron una incidencia negativa en la distribución de cargas en las columnas localizadas sobre la cimentación.
- La exploración de campo y los testimonios de los ingenieros de la constructora demostraron que debido a problemas constructivos la columna R3 no tuvo base ensanchada. La ausencia de base ensanchada en la columna R3 disminuyó su capacidad de carga de manera dramática acercándola a la carga aplicada sobre dicho pilar y en consecuencia acercándola a una condición de falla.

Figura 1. *Ubicación de la columna R3 en la torre 6 edificio Space*

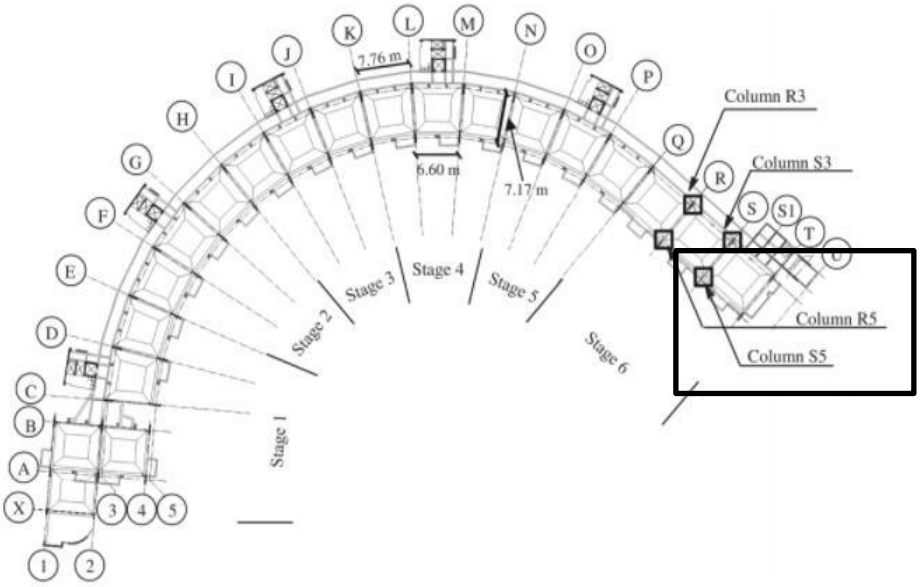


Tomado de Chávez, et ál., (2022).

Los problemas constructivos se atribuyen a la presencia de aguas subterráneas y acuíferos en profundidad en suelos que presentan poca estabilidad en dichas condiciones, circunstancias que fueron identificadas en la exploración de campo realizada por la Universidad. Al respecto no se encuentran advertencias o recomendaciones en los estudios realizados en la fase de diseño.

La columna S5 presentó asentamientos pronunciados en la obra. Los modelos analíticos indican que, de haberse construido según lo especificado, dicha columna no ha debido sufrir dichos asentamientos. De acuerdo con esto, debe considerarse la hipótesis que dicha columna tuvo problemas en su construcción, lo cual explicaría los altos asentamientos registrados.

Figura 2. *Ubicación de la columna S5 en la torre 6 edificio Space*



Tomado de Chávez, et ál., (2022).

Finalmente, cabe mencionar que el estudio realizado por la Universidad de los Andes determina unas conclusiones específicas generales. Los análisis realizados en relación a las posibles causas del colapso de la Etapa 6 del edificio SPACE permiten establecer lo siguiente:

a) No se encontraron evidencias de que el colapso de la Etapa 6 del edificio pudiese estar asociado a alguno de los siguientes eventos externos:

   Ocurrencia de un evento sísmico significativo el mismo día o en los días previos al colapso, ocurrencia de un movimiento del terreno tipo deslizamiento que pudiese haber afectado la distribución de cargas interna en la estructura, explosiones o incendios internos que hubiesen podido generar el debilitamiento de elementos estructurales importantes y sobrecargas extraordinarias en la edificación.

b) El edificio presentó diversas evidencias de problemas y patologías estructurales internas en los meses y días previos al colapso entre las cuales se incluyen los siguientes:

Fisuras y separaciones en los muros divisorios internos en varios de los apartamentos de la Etapa 6, deflexiones verticales excesivas en las placas de entrepiso que generan la necesidad de rellenos de nivelación para la instalación adecuada de los terminados de piso, esto a su vez genera mayores deflexiones que sobrecargan los muros divisorios de mampostería ubicados en los ejes radiales, falla estructural por compresión en la columna del eje R3 en el nivel 5, reportada en febrero de 2013 y registrada mediante fotografías, falla estructural por compresión en la columna del eje S3 en el nivel 4 reportada el día 11 de octubre de 2013 y registrada mediante fotografías y las fisuras en las columnas del eje T registradas en informe técnico de auditoría de calidad.

c) El edificio sufrió asentamientos diferenciales que sobrepasaron los valores admisibles establecidos por la normativa vigente.

d) Las causas más probables de los altos asentamientos totales y diferenciales registrados en las columnas de la Etapa 6 se atribuyen a los problemas presentados durante la construcción de las pilas de cimentación, que indican que al menos una de las pilas no quedó construida con las especificaciones establecidas en el diseño, en particular con el diámetro de la base, especificado en el estudio de suelos.

e) La evaluación de las condiciones estructurales del edificio permite concluir que la causa principal del colapso está asociada a lo siguiente:

   El edificio presenta una clara deficiencia en el dimensionamiento y diseño de los elementos estructurales principales generando con esto una falta de capacidad estructural en los mismos ante las cargas gravitacionales impuestas. La falta de capacidad está asociada a las dimensiones de los elementos de acuerdo con las propiedades de los materiales y al acero de refuerzo interno especificado.

El edificio presenta una deficiencia en el dimensionamiento de los elementos estructurales de entrepiso (vigas y placas) por lo cual se presenta una sobrecarga considerable por cuenta de los rellenos requeridos para la nivelación de los pisos.

f) Las evaluaciones analíticas de confiabilidad estructural indican que la probabilidad de falla del edificio en las condiciones en que se encontraba al final de la fase de construcción era cercana al 100%. También se encuentra que de haberse dimensionado adecuadamente las columnas del edificio de acuerdo con la normativa vigente, la probabilidad de falla de la columna crítica del edificio sería muy baja (inferior al 0.1%), aun considerando la ocurrencia de los asentamientos diferenciales registrados.

g) En relación al incumplimiento en las resistencias mínimas especificadas para el concreto, según los ensayos de control de calidad en obra, no se considera que este sea un factor determinante en el colapso de la edificación debido principalmente a las siguientes dos razones:

   Aún en condiciones de análisis que suponga que la totalidad de las resistencias de los concretos hubiesen estado por encima del valor especificado por el diseñador, varias de las columnas del edificio presentaban condiciones críticas de capacidad.

   El análisis demuestra que de haberse diseñado y construido las columnas cumpliendo los requisitos mínimos de la NSR-98, correspondientes a la capacidad axial de carga, las columnas hubiesen tenido la capacidad de resistir las cargas axiales actuantes, aún si las resistencias del concreto de las columnas hubiesen presentado valores deficientes en los rangos inferiores de los valores encontrados en los ensayos de control de calidad.

h) A juicio de los especialistas y expertos de la Universidad de los Andes, la estructura del edificio SPACE, de haberse diseñado cumpliendo la totalidad de los requisitos aplicables

de la Ley 400 de 1997 y sus Decretos Reglamentarios (NSR-98), la Etapa 6 no hubiese presentado el colapso que presentó en las condiciones impuestas. (Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería, 2014, pp.40-41).

4.1.3. Problemas constructivos del Edificio Bernavento

Esta edificación se encontraba ubicada en la carrera 81 N° 7-110 de Medellín, y constaba de 18 pisos, con un área total construida de: 6.920,44 m^2, fue recibida por los copropietarios en el año 2010, no obstante, no se tiene acto administrativo que lo certifique. Así mismo, desde el año 2013 ya se venían evidenciando las fallas presentes en la edificación, por lo que optaron por contratar la firma INGECONCRETO, para que evaluara las condiciones estructurales de la edificación en referencia, cuyo informe arrojo la necesidad de adelantar el reforzamiento de la estructura del edificio.

De acuerdo con la Información remitida por el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGRD), se tiene lo siguiente: “el día 28 de marzo de 2018, se activa el protocolo de seguridad establecido por el edificio Bernavento para el proceso de reforzamiento, a raíz de un sonido que se presentó en la estructura, lo que generó la evacuación de 3 edificaciones vecinas al edificio Bernavento, hasta que se realizara la revisión de la estructura por parte de los ingenieros encargados y de personal técnico del Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGRD), inspección que dio como resultado la ficha técnica número 68369, en la cual se describe que después del recorrido por todo el edificio, se descarta falla en elementos estructurales, y que el ruido se debió a daños en elementos no estructurales de fachada, por lo cual se informa a la comunidad que pueden regresar a sus viviendas.

Después, el día 12 de abril del 2018, el personal del Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGRD), encargado de hacer seguimiento al edificio

Bernavento, recibe llamada de los encargados del refuerzo del edificio, por lo cual se hace un nuevo recorrido por parte de los ingenieros del edificio en compañía de los ingenieros del Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGRD), encontrando en este recorrido un daño estructural en una de las columnas inferiores, descripción plasmada en la ficha técnica 68576, además del recorrido, el equipo de ingenieros contratados para el refuerzo de la estructura presenta el mismo día, 12 de abril de 2018, un informe parcial en el cual concluye "El equipo técnico asesor considera que las deformaciones acumuladas presentadas desde la construcción del edificio y el daño del elemento estructural reportado el 12 de abril de 2018, lleva al límite los niveles aceptables para la intervención durante el proceso de reforzamiento y pone en riesgo inminente de colapso la edificación".

Por todo lo anterior, el día de 12 abril de 2018, en horas de la noche, se procedió de manera inmediata, bajo conocimiento de la Inspección de Permanencia 3 de Belén y, como medida preventiva con el fin de preservar la integridad física, bienes e inmuebles de los copropietarios, a recomendar la evacuación temporal de los inmuebles ubicados en la carrera 8f N° 7-72, Calle 15 N° 80-161 Edificio Bernalejas (44 Apartamentos, 101 Personas evacuadas y 3 mascotas) y calle 15 N 80-151 Edificio Hábitat Sede los Bernal, (53 personas evacuadas), como quiera que estas edificaciones se encuentran colindantes por linderos perimetrales con la edificación afectada, brindándose además, la atención y las acciones pertinentes por parte del Municipio de Medellín.

Adicionalmente, la orden impartida por el alcalde de Medellín en el artículo 2o de la Resolución 201850033226 de abril 26 de 2018, al Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres del Municipio de Medellín, para adoptar las siguientes medidas:

a. Demoler de forma inmediata el Edificio Bernavento ubicado en la carrera 81 N° 7-110 del Municipio de Medellín, tal como fue conceptuado por la Comisión Técnica y recomendado

por el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres en sesión extraordinaria llevada a cabo el 18 de abril de 2018 a las 5:20 p.m. en el Despacho de la Alcaldía Municipal.

b. Diseñar y presentar, un plan integral para llevar a cabo la demolición ordenada, que incluya como mínimo los planes de contingencia, manejo ambiental, social y demás acciones necesarias para mitigar el impacto, que se incorporará a la presente actuación. (Contraloría General De La Nación, 2018, p.14). *Auditoría especial implosión del edificio Bernavento-departamento administrativo de gestión de riesgos de desastre DAGRD del municipio de Medellín.*

El edificio Bernavento, que fue construido entre 2008 y 2009 con diseños estructurales de Jorge Aristizábal, calculista del edifico Space, también presenta fallas en su estructura. La edificación comenzó a ser habitada en 2010 y ese mismo año fueron detectadas las primeras deficiencias constructivas por parte de los propietarios. A principios del 2018 se iniciaron labores de reforzamiento de la estructura, sin embargo, el 28 de marzo de 2018 volvió a presentar fallas. El Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres informó que el edificio será demolido en junio de 2018. (Departamento administrativo de gestión de riesgos de desastre, 2018).

4.1.4. Caso del Edificio Blas de Lezo II

En el presente estudio de caso se realizó un análisis sobre el colapso del edificio en construcción Blas de Lezo II, en la ciudad de Cartagena, dado el 27 de abril de 2017.

De acuerdo a un informe de la Oficina Asesora para la Gestión del Riesgo de Desastres (O.A.G.R.D), con indagaciones que se recopilaron de residentes aledaños y algunos trabajadores de la construcción, se enuncian los posibles detonantes que generaron como consecuencia el colapso del edificio en construcción Portales de Blas de Lezo II, así:

El edificio fue diseñado y calculado para construir cuatro plantas. La constructora Quiroz, al momento de la eventualidad, había construido seis plantas, sobrepasando los cálculos

estructurales y el Reglamento Sismo Resistente del 2010 (NSR-10). Sumado a lo anterior, las bases del edificio fueron socavadas después de encontrarse construidas, para dar paso a un semi sótano de parqueo, que no estaba contemplado en el diseño original. Las zapatas de los cuatro extremos del edificio quedaron flotantes y la constructora no subsano este fenómeno a tiempo. En esta época del año se presentó un frente de lluvias torrenciales que azotaron a estos barrios. Las fuertes escorrentías de aguas lluvia se filtraron hasta esta zona de cimentación del edificio, restándole capacidad portante a estos subsuelos, lo que agravó la estabilidad y capacidad de soporte de dichos elementos estructurales. (Madariaga, 2019, p.54).

Unos días antes del colapso, un fuerte aguacero llenó estas socavaciones de las zapatas, ubicadas en la parte frontal del edificio, lo que originó que éstas cedieran y el edificio colapsó hacia la calzada de la calle que separa la etapa 3 de la etapa 4. (Madariaga, 2019, p.54).

Licencia Urbanística de Construcción falsa: luego del desplome del edificio Portales de Blas de Lezo II, se develaron una serie de anomalías en el otorgamiento de licencias urbanísticas en el Distrito de Cartagena. En la parte exterior de la construcción del edificio Portales de Blas de Lezo II se encontraba una valla informativa correspondiente a una licencia urbanística, sin embargo al momento de corroborar la veracidad de la misma, en las curadurías urbanas 1 y 2, en la Dirección de Control urbano, en la Alcaldía Local 3 y en la Inspección de policía N. 12, no se encontró documentación sobre trámite u otorgamiento de licencia de construcción alguna del edificio Portales de Blas de Lezo II, por lo tanto esa valla informativa era falsa, según información suministrada a medios de comunicación y en redes sociales por el Alcalde del Distrito de Cartagena.

De igual manera, la señora Patricia Galindo Salom, directora de la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL). Seccional Bolívar, en declaraciones al medio El Heraldo, el 28 de

abril de 2017, también afirmó que la construcción era ilegal al no contar con los permisos respectivos por ninguna de las curadurías urbanas del Distrito. El señor Ronald Llamas, Curador 1 del Distrito de Cartagena, en declaraciones que dio al periódico El Espectador el día 27 de abril de 2017, confirmó la falsedad de la licencia y que no existía trámite alguno de la misma ante las curadurías del Distrito. (Madariaga, 2019, p.59).

Infracción Urbanística: para este caso, se incumplieron varias normas como el número de pisos permitidos para el sector, ya que el edificio tenía seis (6) pisos construidos; el total de metros cuadrados para el tipo de edificación, pues tenía 340 metros cuadrados, además no contaba con parqueadero para visitantes. (Madariaga, 2019, p.61).

Patología estructural: luego del desplome del edificio Portales de Blas de Lezo II, la Universidad de Cartagena, realizó unos estudios patológicos a unos escombros de la edificación colapsada y arrojó conclusiones como:

- La calidad de los materiales no correspondía a los requerimientos para este tipo de obras.
- Las columnas no tenían la sección adecuada en el marco del reglamento NSR 10
- La resistencia de las mezclas de concreto no cumplía con consistencia necesaria para la edificación como arena, gravilla y cemento.
- Las especificaciones de construcciones mínimas para este tipo de obras no fueron tenidas en cuenta. (Madariaga, 2019, pp.62-63).

4.1.5. Caso del edificio Asensi y Continental Towers

ASENSI y CONTINENTAL TOWERS, construidas por CDO, la misma constructora del edificio SPACE, fueron evacuadas días posteriores al desplome del edifico SPACE, por presentar riesgo de colapso debido a fallas en su construcción. La Licencia de repotenciación para el edificio

ASENSI fue aprobada, sin embargo, a la fecha no se ha realizado porque algunos propietarios se han negado a esta intervención, además la constructora no cuenta con los recursos financieros para dicha intervención. (El Tiempo, 2017).

Por su parte, desde el 29 de octubre de 2013, se dio la orden de evacuación de la unidad residencial CONTINENTAL TOWERS, por presentarse fallas estructurales con riesgo de colapso, desde esa fecha se encuentra desocupado el edificio en espera de una solución para dar cumplimiento al fallo de devolución del dinero invertido a cada uno de sus propietarios.

"Cualquier aumento de las cargas verticales o generación de fuerzas inerciales horizontales o de vientos fuertes, de impactos (acciones externas y/o colapso parcial de elementos), o por deformaciones progresivas en la estructura, o cualquier remoción adicional de elementos verticales (incluyendo mampostería) conlleva a un escenario de colapso", indica el estudio.

Por estas razones, se ordenó la demolición de la estructura (cuatro torres de apartamentos) y la evacuación del edificio Interclub, que se encuentra al lado, mientras que desde la alcaldía se escogió a la firma Atila Implosiones para la demolición, debido a su experiencia con Space y Bernavento, así como de otras estructuras en Cali y Bogotá. (El Colombiano, 2022).

4.1.6. Otros Edificios con problemas estructurales en la ciudad de Medellín

Posteriormente salió a la luz el problema que hay en Medellín con los edificios que tienen fallas estructurales. El caso del Continental Tower, hizo que la mirada nuevamente se dirigiera a este problema que incluso ha dejado víctimas fatales en esa ciudad.
De acuerdo con la administración municipal, en la actualidad diez edificaciones con fallas estructurales están siendo monitoreadas por las autoridades para evitar una posible emergencia. Entre los edificios que actualmente tienen este problema, solo cinco están evacuados. Se trata de las edificaciones Asensi, Kampala, Mantua, Continental y San Miguel del Rosario. El seguimiento

que se está realizando a los inmuebles con fallas estructurales está a cargo del grupo de riesgo sísmico y daño estructural del Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGRD).

El subdirector de Manejo de Desastres del DAGRD, Carlos Muñoz, aseguró que las evacuaciones se recomendaron debido a los problemas estructurales, que son un común denominador en todos los edificios que están en seguimiento. (Infobae, 2022). *Serian diez los edificios de Medellín que tienen problemas estructurales*.

4.1.7. Edificio Escollera de Cartagena

La Torre de la Escollera, ubicada en Bocagrande, Cartagena, sería el edificio más alto de Colombia con 200.3 metros de altura. Sin embargo, el día 13 de mayo de 2007, cuando la Torre alcanzó la altura de 152.3 metros, se presentó un fuerte viento en la Ciudad de Cartagena, el cual afectó la estructura metálica de la Torre de la Escollera, llevándola a presentar una inclinación de un metro (1m), con su mayor curvatura en el piso 28, imposibilitando la continuación de la construcción. Se consideró el desmonte de la torre debido a la intervención de las autoridades con la asesoría y el seguimiento realizado por la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos del departamento de Bolívar.

La Torre de la Escollera fue una edificación sin finalizar. Su construcción, que inició en el año 2005, describe una estructura metálica ubicada en la Ciudad de Cartagena de Indias, Colombia. El 13 de mayo de 2007, un evento imprevisto surgió, en donde la carga de viento ocasionó la torsión de la torre entre los pisos 28 y 40, causando una inclinación de un metro con su mayor curvatura en el piso 28, según Garza y Orozco que hicieron la publicación del artículo “Autopsia de la Torre la Escollera” en el 2008. (Carrascal y Cifuentes, 2016, pp.3-27). Después de este

incidente, inspectores e interventores rectificaron la desviación de la edificación y su fragilidad ante la acción de cargas horizontales tales como las cargas de viento o sismo.

Según reportes, como el publicado por Construdata en el 2007, cuando ocurrió el incidente "José Hernán Bravo, constructor, aseguró que fue debido a que uno de los calculistas, al crear el diseño del edificio en computador, quitó las diagonales que estabilizan la obra para ver cuál era el efecto de la fuerza horizontal (viento) y dejo las vigas que soportan las losas y las vigas secundarias que ayudan a controlar los movimientos del edificio. También informó que cuando iniciaron el proyecto del montaje de la obra consultaron a los diseñadores del edificio para identificar hasta qué altura podrían subir el esqueleto del edificio sin las diagonales. "Después de un análisis, los calculistas manifestaron que se podía construir y así se hizo" (El tiempo, 2007).

Por lo anteriormente expuesto, se especula que se presentaron fallas en la geometría de la estructura que llevaron a su desmonte. Por estas condiciones se buscó analizar, detallar y representar la geometría de la estructura mediante un modelo en elementos finitos, con las cargas que la NSR-98 sugirió para el diseño de la época. Junto con esto analizar en el modelo estructural el impacto de la presencia de las diagonales y su efecto en la rigidez total de la estructura para cargas de viento, con lo cual se buscó conocer si la estructura falló por la falta de elementos como las riostras y hacer una comparación en caso que las hubiese tenido o no en la estructura, debido a que esta edificación tenía que soportar una fuerza horizontal de viento que alcanza casi 150 km/h según la NSR-98. Garza y Orozco en su publicación aseguraron que los vientos que produjeron este episodio desafortunado fueron de 40 km/h. (Carrascal y Cifuentes, 2016, pp.27-28).

Antecedentes de la Edificación: el proyecto la Torre la Escollera en Cartagena planteaba que iba a ser el edificio más alto de Colombia, y su costo sería de 20 mil millones de pesos de la época (2005). El edificio se presupuestaba entregar en septiembre del 2006 pero varios sucesos

retrasaron su entrega que se pensaba seria para principios del 2008, pero la construcción no pudo ser concluida por fallas en la estructura. La empresa propietaria del edificio decidió desmontarlo, debido a que la interventoría confirmó la curvatura que presentaban las columnas entre los pisos 28 y 40. En la estructura, según planos estructurales, se observan riostras con nudos articulados. Sin embargo, durante el proceso constructivo no se instalaron dichas riostras. Es decir que ¨las deformaciones fueron 25 veces mayores que las que se hubieran dado con las riostras¨ (Carrascal y Cifuentes, 2016, p.55). Así mismo, durante el proceso constructivo los entrepisos tampoco se construyeron a excepción de los tres primeros pisos, por ende, la presencia de los diafragmas formados por las losas hubiera dado como resultado la transferencia de cargas horizontales a los pórticos arriostrados, pero la ausencia de éstos hizo que cada pórtico actuara como una estructura independiente, renunciando a la conveniencia de compartir las cargas entre varios de ellos. Por lo tanto, el peso de las losas hubiera sido favorable para contrarrestar los momentos de volteo generados por las fuerzas de viento. (Carrascal y Cifuentes, 2016, p.55).

La causa principal de la falla de la Torre de la Escollera fue la ausencia de las riostras y las losas durante su construcción, así como la falta de rigidez de los nudos de conexión.

Por lo anteriormente expuesto se cree que si la edificación hubiera presentado las riostras y un debido mantenimiento anticorrosivo como estaba estipulado en los planos estructurales no se hubiera presentado tal desplazamiento. Además, las fallas presentadas en la geometría de la estructura llevaron a su desmonte.

La investigación desarrollada en la modelación estructural, cálculos de las cargas de diseño y análisis elásticos e inelásticos del comportamiento estructural del edificio, dejan como conclusiones: Durante la construcción la Torre de la Escollera se presentó corrosión, lo cual genera

una reducción de la sección transversal de las columnas y detrimento de la resistencia de las mismas. Además, las fallas presentadas en la geometría de la estructura llevaron a su desmonte.

Todo el esqueleto estructural está construido con acero de calidad tipo ASTM A588 grado 50 y A572 también grado 50. El acero A588 es de alta resistencia y de baja aleación, también presenta alta resistencia a la corrosión atmosférica. Sin embargo, las fisuras y grietas en los cordones de soldadura muestran que los aceros de alta resistencia requieren un cuidado especial durante la soldadura, por esto, una penetración escasa o casi nula es un defecto sumamente importante, da lugar a uniones débiles con alto riesgo de rotura aplicando esfuerzos pequeños y el número de informes sobre fallas frágiles para la utilización de aceros de alta resistencia ha aumentado.

Los planos estructurales actualizados de la Torre de la Escollera presentan columnas con una sección transversal en perfil tubular relleno de concreto reforzado y el modelo digital de la Torre de la Escollera creado en ETABS por el calculista, modelo con el que estudiaron los desplazamientos de la estructura, presentan columnas circulares con un material de una densidad mayor que la del acero, sin embargo, se aseguraron que el radio de giro de la sección a usar en ETABS fuera similar a la de la sección real (la especificada en los planos estructurales). Por esto, la rigidez proporcionada de las columnas circulares, sección con la que estudiaron los desplazamientos, es mayor que la de las columnas de sección compuesta que se ejercieron en campo. Por lo tanto, los desplazamientos generados en el análisis en la etapa de diseño de la Torre son erróneos para una representación de los desplazamientos reales.

Los desplazamientos generados en el modelo de ETABS con las columnas de sección circular en acero, son parte del criterio que llevó a la decisión de la no colocación de las riostras

que estaban en los planos estructurales. Pero según los estudios que se realizaron con los modelos originales, estos desplazamientos excedían los desplazamientos máximos laterales de la estructura.

Las columnas estudiadas en los planos estructurales para la modelación de la estructura son compactas y no cumplen con la resistencia a compresión para las combinaciones de cargas críticas durante la construcción. Los índices de sobre esfuerzo en las columnas del modelo arriostrado y del modelo sin riostras son superiores a 1, es decir, que en las columnas hay un sobre esfuerzo. El esfuerzo actuante es mayor al esfuerzo máximo resistente en la mayoría de las columnas de los primeros 30 niveles. Lo cual indica que los diseños realizados en la concepción de la estructura, no cumplen para soportar las cargas sugeridas por la NSR-98.

Los niveles de esfuerzo en las columnas del modelo arriostrado y del modelo sin riostras son menores a 1, es decir, que las columnas se diseñaron de acuerdo a la Norma NSR-98, cuando solamente se considera el peso propio de la estructura (carga muerta), sin la fuerza de viento o la fuerza sísmica. (Carrascal y Cifuentes, 2016, p.167).

En el estudio del análisis sísmico, la Torre de la Escollera se encuentra en una zona sísmica baja. Por lo tanto, el desplazamiento máximo lateral de la Torre de la Escollera durante su construcción pudo haber sido mayor a los desplazamientos que se hubieran presentado en la estructura con riostras o sin riostras ante un sismo. Sin embargo, la carga lateral de diseño es la de viento.

La Torre de la Escollera en los planos estructurales, no presenta detallados de las conexiones de las diagonales, hay ausencia de la información sobre el sistema de conexiones. (Carrascal y Cifuentes, 2016, p.168).

4.2. Marco legal

A continuación, se presenta un breve resumen de los antecedentes en cuanto a la normatividad que ha venido rigiendo en nuestro país en los últimos años. Antes del terremoto de Popayán:

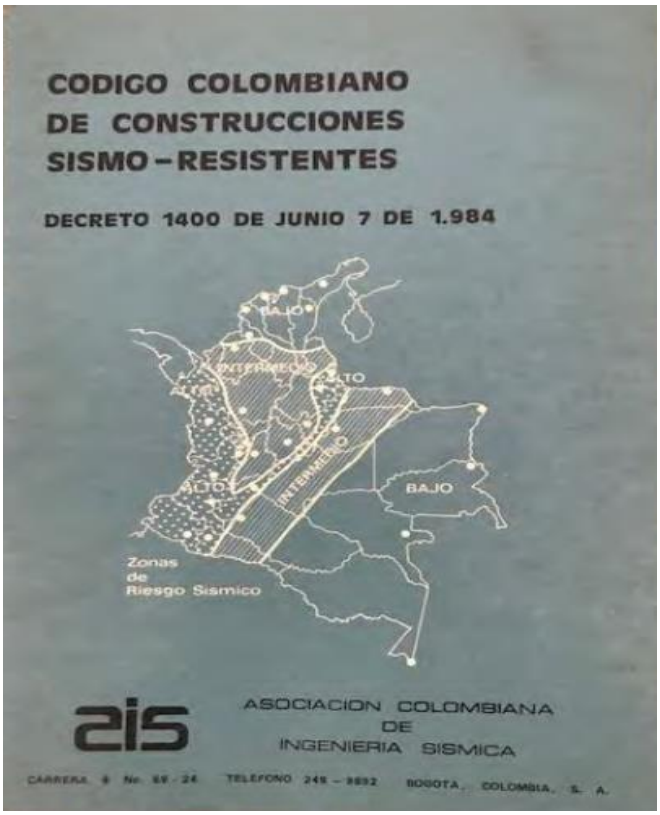
Norma AIS 100 Requisitos Sísmicos para Edificaciones

ICONTEC, Código Colombiano de Estructuras de Hormigón Reforzado

FEDESTRUCTURAS, Código de Construcciones Metálicas

Después del terremoto de Popayán, que ocurrió en 1983, se creó el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes CCCSR-84, cuya portada se observa en la Figura 3.

Figura 3. *Portada del Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Después del terremoto del eje cafetero, que ocurrió en 1999, se generaron las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes (NSR-98), presentadas en 2 Tomos y cuyas portadas se muestran en la Figura 4.

Figura 4. *Portadas de los Tomos 1 y 2 de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente*

Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

La Ley 400 de 1997 dio base al nuevo Reglamento NSR-98, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, donde ya se definió más detalladamente la Supervisión Técnica en lo que se refiere a su alcance, calidades y requisitos de los profesionales que realizaran las labores de supervisión.

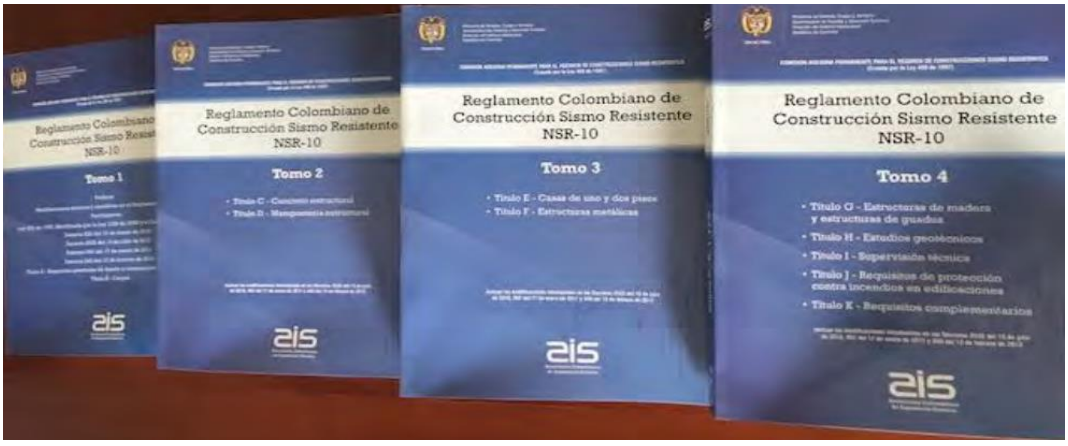
La NSR- 98 estableció una serie de requisitos que debían cumplir las edificaciones nuevas y las edificaciones existentes que son intervenidas estructuralmente por modificaciones, cambio en su uso o por problemas patológicos dentro de su estructura.

En la actualidad rige el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, del cual se resaltarán algunos aspectos a considerar.

Figura 5. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR10 (Versión 1)*

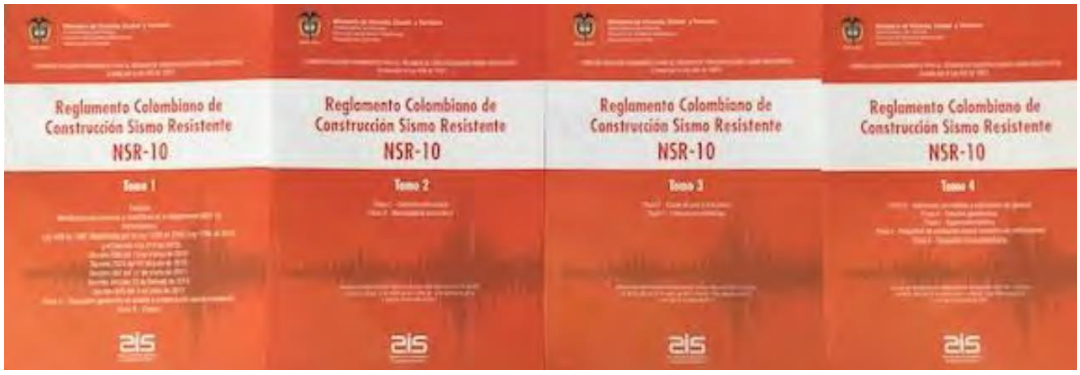
Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Figura 6. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Versión 2)*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Figura 7. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Versión 3)*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

En esta última versión, que aplica a partir del 1 de julio de 2017, se contó con actualizaciones con el fin de salvaguardar las vidas humanas, garantizar la estabilidad, bienestar, calidad de las construcciones y el patrimonio de muchos colombianos ante la ocurrencia de un sismo fuerte.

El Reglamento NSR-10, hasta la fecha, ha tenido cuatro versiones con actualizaciones, entre las cuales se encuentra Decreto 945 del 05 de junio de 2017, Decreto 2113 del 25 de noviembre de 2019, y a la fecha Decreto 1711 del 13 de diciembre de 2021, es de conocimiento la obligatoriedad de la revisión del diseño estructural para proyectos de más de 2.000 m2 de construcción; el cual, es recomendado en las versiones anteriores del Reglamento, pero a partir del 2017 está son de obligatorio cumplimiento.

4.3. Marco teórico

La Revisión de los Diseños Estructurales se limita a la verificación de cumplimiento de especificaciones de planos y memorias de cálculo de acuerdo con el Reglamento Colombiano de

Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y a la sujeción de parámetros descritos en el estudio de suelos.

4.3.1 Ley de vivienda segura

A raíz de la tragedia del edificio Space en la ciudad de Medellín, y en atención a una serie de episodios de igual magnitud, se promovió un cambio en la normativa de vivienda, que dio origen a la Ley 1796 del 13 de julio de 2016 (ley de vivienda segura). Tal vez, uno de estos principales cambios que tiene esta ley ha sido el rol que debe desempeñar el supervisor técnico a lo largo de la ejecución del proyecto. Cabe resaltar que esta figura ya estaba contemplada desde la expedición de la Ley 400 del 19 de agosto de 1997. (*El rol de la supervisión técnica en la ley de vivienda segura,* s.f.)

A partir de la vigencia de esta ley, es obligatorio ejercer una supervisión técnica en todas las edificaciones cuyo predio o predios superen los 2.000 m^2 de área construida o más de 25 unidades de vivienda, independientemente de su uso, con la particularidad de que el contar con esta supervisión no exime al constructor de su obligación de realizar todos los controles de calidad exigidos por la ley para garantizar que la edificación se construya de conformidad con los planos, diseños y especificaciones técnicas aprobados en la respectiva licencia de construcción. Dando alcance a tal responsabilidad, el constructor, durante el desarrollo de la obra, deberá tener a disposición del proyecto al diseñador estructural y al ingeniero geotecnista responsables de los planos y estudios aprobados, quienes deberán atender las consultas y aclaraciones solicitadas por el constructor o el supervisor técnico. (*El rol de la supervisión técnica en la ley de vivienda segura,* s.f.)

Revisión Independiente de los Diseños Estructurales: la Ley 1796 del 13 de julio del 2016 habla en su Artículo 3° sobre una modificación en el parágrafo del artículo 15 de la Ley 400 de 1997, el cual queda de la siguiente manera:

Parágrafo. La revisión de los diseños estructurales de las edificaciones cuyo predio o predios permitan superar más de 2.000m^2 de área construida, independientemente de su uso, será realizada a costo de quien solicita la licencia, con un profesional particular, calificado para tal fin, de conformidad con los requisitos establecidos en el Capítulo III Título VI de esta ley, diferente del diseñador e independiente laboralmente de él, el cual, luego de corregidos los ajustes solicitados mediante el Acta de Observaciones emitida por el curador urbano o la dependencia de la administración municipal o distrital encargada de la expedición de licencias de construcción, por medio de un memorial dirigido a ésta, certificará el alcance de la revisión efectuada, el cumplimiento de las normas de la presente ley y sus decretos reglamentarios y firmará los planos y demás documentos técnicos como constancia de haber efectuado la revisión.

El profesional encargado de la revisión de los diseños estructurales será escogido de manera autónoma por el solicitante de la licencia. Esta revisión también la podrán realizar personas jurídicas que cuenten con personal calificado, acreditado y registrado que cumpla con los requisitos definidos en la presente ley para realizar la revisión de los diseños estructurales. Cuando se presenten diferencias entre el diseñador estructural y el revisor del proyecto, las mismas se resolverán de conformidad con el reglamento que para tal efecto adopte el Gobierno nacional.

Para edificaciones que deban someterse a una supervisión técnica de acuerdo con lo establecido en el Título V de la presente ley y sus decretos reglamentarios y que se localicen en municipios y distritos donde no se cuente con la figura del curador urbano, la revisión de que trata el presente parágrafo correrá a costa de quien solicite la licencia y será ejercida por profesionales

independientes o por el curador urbano del municipio más cercano del mismo departamento, en los términos y condiciones que establezca el Gobierno nacional a través del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

La revisión de los diseños estructurales de las edificaciones cuyo predio o predios no permitan superar más 2.000m^2 de área construida, independientemente de su uso, deberá cumplir con la totalidad de las normas previstas en la presente ley y sus decretos reglamentarios, recayendo la responsabilidad sobre el diseñador estructural, el propietario del predio o el fideicomitente o el constructor en el caso de los patrimonios autónomos titulares de los derechos de dominio que hayan sido designados en el respectivo contrato de fiducia, de conformidad con lo previsto en la ley al respecto, y el titular de la licencia de construcción. Sin perjuicio de lo anterior, durante el trámite de la licencia se hará una revisión del proyecto estructural por parte de los encargados de estudiar y expedir las licencias. (Ley 1796, 2016).

Cuando la edificación que se pretende desarrollar tenga menos de 2.000m^2 de área construida, pero cuente con la posibilidad de tramitar ampliaciones que permitan alcanzar los 2.000m^2 exigidos, en la evaluación inicial del diseño estructural, se analizará si el mismo soporta la futura ampliación en cuyo caso la edificación pese a tener menos de 2.000m^2, deberá contar con la revisión estructural de que trata este artículo.

Cuando en uno o más predios se aprueben distintas edificaciones que en conjunto superen los 2.000m^2 de área construida, cada una de ellas independientemente de su área construida, deberá contar con la revisión estructural exigida en este artículo. (Ley 1796, 2016).

Revisión independiente de los estudios geotécnicos: la revisión independiente de los estudios geotécnicos es de carácter voluntario, y podrá realizarse sin perjuicio de la revisión de oficio que debe adelantar en todos los casos el curador urbano o la autoridad municipal o distrital

a cargo de la expedición de las licencias urbanísticas. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010).

4.3.2 Certificado técnico de ocupación

Según lo establecido en la Ley 1796 del 13 de julio del 2016 en su Artículo 6 sobre la Certificación técnica de Ocupación nos dice que:

Una vez concluidas las obras de construcción de la cimentación, la estructura y los elementos no estructurales de la edificación, aprobadas en la respectiva licencia de construcción y previamente a la ocupación de nuevas edificaciones, el supervisor técnico independiente deberá expedir bajo la gravedad de juramento la certificación técnica de ocupación de la respectiva obra, en la cual se certificará que la obra contó con la supervisión correspondiente y que la edificación se ejecutó de conformidad con los planos, diseños y especificaciones técnicas, estructurales y geotécnicas exigidas por el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes y aprobadas en la respectiva licencia.

A la certificación técnica de ocupación se anexarán las actas de supervisión, las cuales no requerirán de protocolización. La certificación técnica de ocupación deberá protocolizarse mediante escritura pública otorgada por el enajenador del predio, la cual se inscribirá en el folio de matrícula inmobiliaria del predio o predios sobre los cuales se desarrolla la edificación, así como en los folios de matrícula inmobiliaria de las unidades privadas resultantes de los proyectos que se sometan al régimen de propiedad horizontal o instrumento que permita generar nuevas unidades de vivienda. En los proyectos de construcción por etapas de que trata la Ley 675 de 2001, para cada una de las nuevas edificaciones se deberá proceder de la manera prevista en este artículo.

La copia de las actas de la supervisión técnica independiente que se expidan durante el desarrollo de la obra, así como la certificación técnica de ocupación, serán remitidas a las autoridades encargadas de ejercer el control urbano en el municipio o distrito y serán de público conocimiento.

Es también de anotar que en el Parágrafo 10 de esta misma Ley nos dice que: en los casos, de edificaciones conformadas por unidades estructuralmente independientes, una vez concluidas las obras de cada una de éstas y previamente a su ocupación, se podrá expedir un certificado técnico de ocupación por unidad, estructuralmente independientes. En este caso, el certificado técnico de ocupación deberá protocolizarse en los folios de matrícula inmobiliaria de las unidades privadas de la respectiva unidad estructuralmente independiente. (Ley 1796, 2016)

En el momento de generar la certificación técnica de ocupación con respecto a los planos utilizados en la construcción, el Supervisor Técnico Independiente debe declarar si revisó y autorizo con su firma los planos finales de cimentación y estructura de la obra (planos récord), indicando la cantidad, fecha de autorización y licencia de construcción bajo la cual las modificaciones fueron autorizadas por el curador urbano o autoridad municipal o distrital encargada de la expedición de licencias. (Ley 1796, 2016).

Control de planos: el control de planos consistirá, como mínimo, en constatar la existencia de todas las indicaciones necesarias para poder realizar la construcción de la cimentación, la estructura y los elementos no estructurales de una forma adecuada, con los estudios geotécnicos, planos estructurales y de elementos no estructurales del proyecto. Dentro del alcance del control de planos a realizar por parte del Supervisor Técnico Independiente no se incluye la revisión de los estudios, planos y diseños. Si a juicio del Supervisor Técnico Independiente existe un error u omisión grave en los estudios geotécnicos, diseños estructurales y/o de elementos no estructurales,

se limitará a dar aviso oportuno al ingeniero geotecnista, diseñador estructural y/o diseñador de elementos no estructurales, quien(es) debe(rán) emitir un concepto al respecto. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

Control de especificaciones: la construcción de la estructura y elementos no estructurales debe llevarse a cabo cumpliendo como mínimo, las especificaciones técnicas contenidas dentro del reglamento para cada uno de los materiales estructurales y elementos no estructurales cubiertos por él y las emanadas de la Comisión Asesora permanente del régimen de Construcciones Sismo resistentes, además de las particulares contenidas en los planos y especificaciones producidas por el diseñador estructural y de elementos no estructurales, las cuales en ningún caso podrán ser contrarias a lo dispuesto en el reglamento. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010).

Control de materiales: el supervisor técnico independiente exigirá que la construcción de la cimentación, la estructura y los elementos no estructurales se realice utilizando materiales que cumplan con los requisitos generales y las normas técnicas de calidad establecidas por el Reglamento para cada uno de los materiales de la cimentación, la estructura y de los elementos no estructurales o los tipos de elemento. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

Ensayos de control de calidad: el Supervisor Técnico Independiente dentro del programa de control de calidad le aprobará al constructor la frecuencia de toma de muestras y el número de ensayos que deben realizarse de los materiales de la estructura, los cuales deben realizarse en un laboratorio o laboratorios previamente aprobados por él. El Supervisor Técnico Independiente debe realizar una interpretación de los resultados de los ensayos realizados, definiendo explícitamente la conformidad de los materiales estructurales con las normas técnicas exigidas.

(Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4. Marco conceptual

4.4.1 Grupos de uso

Es la clasificación de las edificaciones según su importancia para la atención y recuperación de las personas que habitan en una región, que puede ser afectada por un sismo o cualquier tipo de desastre, entre los cuales tenemos:

Grupo I: Estructuras de ocupación normal: Todas las edificaciones cubiertas por el alcance del Reglamento, pero que no se han incluido en los Grupos II, III y IV.

Grupo II: Estructuras de ocupación especial: Cubre las siguientes estructuras:

a) Edificaciones en donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón,
b) Graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez,
c) Almacenes y centros comerciales con más de 500 m^2 por piso,
d) Edificaciones de hospitales, clínicas y centros de salud, no cubiertas en A.2.5.1.1.
e) Edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas, y
f) Edificios gubernamentales.

Grupo III: Edificaciones de atención a la comunidad: Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el grupo IV. Este grupo debe incluir:

a) Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres.
b) Garajes de vehículos de emergencia.
c) Estructuras y equipos de centros de atención de emergencias.
d) Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza.
e) Aquellas del grupo II para las que el propietario desee contar con seguridad adicional.
f) Aquellas otras que la administración municipal, distrital, departamental o nacional designe como tales.

Grupo IV: Edificaciones indispensables: Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno. Este grupo debe incluir:

a) Todas las edificaciones que componen hospitales, clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos y/o atención de urgencias.
b) Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y de sistemas masivos de transporte, centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión.
c) Edificaciones designadas como refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de servicios
d) Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos.
e) Edificaciones que contengan agentes explosivos, tóxicos y dañinos para el público.
f) En el grupo IV deben incluirse las estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio,

y los accesos, peatonales y vehiculares de las edificaciones tipificadas en los literales a, b, c, d y e del presente numeral. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.2 Control urbano

Actividad desarrollada por los alcaldes municipales o distritales, directamente o por conducto de sus agentes, encaminada a ejercer la vigilancia y control durante la ejecución de las obras, con el fin de asegurar el cumplimiento de las licencias urbanísticas y de las normas contenidas en el Plan de Ordenamiento Territorial. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.3 Constructor

Es el profesional, ingeniero civil o arquitecto, o constructor en arquitectura e ingeniería, bajo cuya responsabilidad se adelante la construcción de la edificación. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.4 Diseñador arquitectónico

Es el arquitecto bajo cuya responsabilidad se realizan el diseño y los planos arquitectónicos de la edificación y quien los firma o rotula. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.5 Diseñador estructural

Es un ingeniero civil, facultado para este fin, bajo cuya responsabilidad se realizan el diseño y los planos estructurales de la edificación, y quien los firma o rotula. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.6 Diseñador de los elementos no estructurales

Es el profesional, facultado para este fin, bajo cuya responsabilidad se realizan el diseño y los planos de elementos no estructurales de la edificación, y quien los firma o rotula. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.7 Revisión de oficio

El curador urbano o la autoridad municipal o distrital a cargo de la expedición de las licencias urbanísticas, en todos los casos revisará de oficio el proyecto arquitectónico, los diseños estructurales, el estudio geotécnico y los diseños sísmicos de los elementos no estructurales. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.8 Revisión independiente de los diseños de elementos no estructurales

La revisión independiente de los diseños de elementos no estructurales es de carácter voluntario, y podrá realizarse sin perjuicio de la revisión de oficio que debe adelantar en todos los casos el curador urbano o la autoridad municipal o distrital a cargo de la expedición de las licencias

urbanísticas. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.9 Edificación

Es una construcción cuyo uso primordial es la habitación u ocupación por seres humanos. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.10 Estructura

Es un ensamblaje de elementos, diseñado para soportar las cargas gravitacionales y resistir las fuerzas horizontales. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.11 Licencia de construcción

Es la autorización previa, expedida por el curador urbano o la autoridad municipal o distrital competente, para adelantar obras de construcción, ampliación, adecuación, reforzamiento estructural y modificación, en cumplimiento de las normas urbanísticas y de edificación adoptadas en el Plan de Ordenamiento Territorial, en los instrumentos que lo desarrollen o complementen y en las leyes y demás disposiciones que expida el Gobierno Nacional. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.12 Especificaciones técnicas

Son los documentos que definen las normas y procedimientos aplicándose a todos los trabajos de construcción de obras como instalaciones, ejecución de estudios adecuados para la elaboración de proyectos. (Vargas, 2021, p.11).

4.4.13 Competencias técnicas

Se trata de las más solicitadas y las más distinguidas entre los ingenieros. Quienes más las poseen son más competitivos para ser supervisores. Algunas son: conocimientos sobre los procedimientos constructivos y materiales, lectura de planos y cuantificación de recursos. Implica conocimiento de mayor especialización, por ejemplo, instalaciones hidráulicas o eléctricas, maquinaria pesada, revestimientos, etcétera. (Latitud 19, 2021). *¿Por qué la supervisión es tan importante en las obras?*

4.4.14 La incompetencia técnica

No es la única causante de fallos en los proyectos, también por la falta de ética profesional. La supervisión implica compromiso y responsabilidad para no perjudicar su imagen, la de sus clientes y asegurar al personal que interviene durante el proceso constructivo. Otros valores importantes para la supervisión es la fidelidad y la lealtad hacia los propietarios, representar sus intereses y evitar los personalismos. La congruencia, honestidad y justicia también son importantes para procurar relaciones estables en los equipos. (Latitud 19, 2021). *¿Por qué la supervisión es tan importante en las obras?*

4.4.15 Habilidades interpersonales

Los supervisores tienen a su cargo a los recursos humanos, por lo que es importante que se procuren buenas relaciones interpersonales a través de habilidades como liderazgo, autoridad y responsabilidad. Lograr una buena dirección de la obra requiere una orientación adecuada del comportamiento de los subordinados y fomentar un espíritu de solidaridad y cooperación. Las habilidades interpersonales aseguran que el liderazgo no derive en problemas y se eviten conflictos internos que pueden afectar el proyecto. (Latitud 19, 2021). *¿Por qué la supervisión es tan importante en las obras?*

4.4.16 Valores y actitudes

El desempeño del supervisor también se ve fuertemente influenciado por un tercer componente: los valores y las actitudes. El fracaso de un proyecto atribuido a una deficiente supervisión no únicamente se da por incompetencia técnica o por fallas en la interacción humana, sino también por el desapego a la ética profesional. (Solís, 2004, p.57).

4.4.17 Concreto

Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.18 Concreto estructural

Todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo el concreto simple y reforzado. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.19 Concreto simple

Concreto estructural sin refuerzo o con menos refuerzo que el mínimo especificado para concreto reforzado. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.20 Concreto reforzado

Concreto estructural reforzado con no menos de la cantidad mínima de acero preesforzado o refuerzo no preesforzado especificado en los Capítulos C.1 al C.21 y en los apéndices C- A la C-C. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.21 Mampostería reforzada

Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple con los requisitos del capítulo D.7. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.22 Mampostería no reforzada

Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple con las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Debe cumplir con los requisitos del capítulo D.9. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.23 Mampostería de muros confinados

Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro, confinándolo y que cumple con los requisitos del capítulo D.10. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

4.4.24 Acero estructural

Elementos de acero según se definen en la sección 2.1 del Código de Prácticas Estándar para Estructuras Metálicas, Norma Técnica Colombiana ICONTEC. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica, 2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente.*

5. Alcance

Dentro del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, la revisión técnica estructural incluye aspectos que son de mucha importancia durante la ejecución de un proyecto constructivo y por ende de la supervisión, por lo que resulta valioso implementar buenas prácticas que se deben tener en cuenta al momento de realizar la revisión por parte del supervisor, ya sea para iniciar o para desarrollar su labor durante, sin dejar de recurrir al especialista estructural respectivo. Según lo anterior, se dará inicio con la identificación de los aspectos en los cuales se presentan dudas relacionadas con la revisión del componente estructural, con el fin de conocer algunas de las falencias presentes en casos de estudio recientes por parte de los profesionales involucrados en el diseño, aprobación y construcción, así como por parte de empresas constructoras y entes de control, además de conocer los errores que se puedan presentar en los proyectos de construcción al momento de la supervisión. También se estudiarán los componentes prácticos de la supervisión técnica de diseños estructurales de concreto y acero.

Con lo anterior se busca poder identificar cuáles podrían ser unas propuestas de buenas prácticas que se deben tener en cuenta para la realización de una revisión del componente estructural de un proyecto de construcción de edificios a fin de ponerlas en práctica en futuros proyectos y así evitar o mitigar todos esos errores que se puedan presentar.

Se aclara que el alcance de este documento de buenas prácticas, va dirigido principalmente a profesionales que tengan experiencia y conocimientos en diseño estructural, tal como lo describe el capítulo A-5.2 del apéndice A-5 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.

6. Método

El desarrollo de la presente investigación se realizó mediante la revisión literaria basada en la normativa colombiana, documentos de revisión y casos de estudio para finalizar con la propuesta de revisión tipo listado que constituye buenas prácticas en el diseño, revisión y construcción del componente estructural de un edificio.

En la primera etapa de esta investigación se realizó la identificación de los aspectos de la revisión del componente estructural en los que se realiza poca verificación y en los cuáles debe hacerse mayor énfasis en edificaciones.

- Se realiza el estudio sobre qué es una revisión del componente estructural, buscando términos relacionados con el control de planos, diseños y especificaciones técnicas, utilizando los motores de búsqueda como Google Scholar, el reglamento NSR-10 y decretos complementarios.

  Ecuación de Búsqueda: reglamento NSR-10 AND decretos.

- Se obtienen resultados dispuestos en la bibliografía en donde se investigó y determinó cuál es el alcance de una revisión del componente estructural para evidenciar con mayor claridad cuáles son los requisitos mínimos que deberán aplicar los entes de control para tener buenas prácticas en la revisión del componente estructural de un proyecto de construcción por parte del supervisor.

Como siguiente componente se realizó una revisión de casos de estudio y literatura, enfocados en identificar las dudas, falencias y oportunidades de mejora que se puedan presentar en el diseño y construcción, evidenciadas en obra o al momento de hacer una revisión del componente estructural, con base en el análisis de una serie de proyectos en Colombia.

- Investigación en bibliografía sobre los problemas que se puedan presentar en una revisión del componente estructural: Se realizó la investigación en diferentes fuentes de internet, en artículos publicados, archivos y guías de investigación sobre estudios realizados que demuestran las fallas que se han cometido en diversos proyectos en nuestro país.

  Ecuación de Búsqueda: guías AND artículos investigativo

- Tabulación ordenada de los problemas consultados y por orden de importancia, teniendo toda la información, fuentes bibliográficas, comparaciones de los diferentes casos de estudio que ocasionaron consecuencias que lamentar, bien sea porque se tuvieron que realizar demoliciones de estructuras que generaron pérdidas materiales o porque se presentaron colapsos de edificaciones ya en uso que cobraron vidas humanas.

Finalmente, se estudió los componentes de la revisión de elementos estructurales, en donde se resaltan varios casos de estudios que se realizaron para este tipo de elementos estructurales en esta fase, buscando dar a conocer y mencionar cuáles son los componentes que deben tener prioridad para este tipo de estudio y que puedan evitar y/o mitigar algún tipo de daño estructural. Una vez establecidas las oportunidades de mejora y cambios se deben enunciar algunas técnicas y herramientas de apoyo a la solución con el fin de proponer un listado de revisión estructural de un proyecto tipo que involucre planos y elementos constructivos.

- Se investigó en bibliografía los aspectos de revisión del componente estructural: en esta etapa se realizó toda la investigación sobre los aspectos técnicos estructurales que incluye el reglamento NSR-10 acerca del diseño, la revisión y construcción del componente estructural para tener un mayor conocimiento de cuáles son y darlos a conocer de manera organizada.

- Se organizó y tabuló la información obtenida por orden de importancia, recopilando el mayor número de datos e información obtenida para darla a conocer en este documento y así establecer a consideración de varios autores, cuales son unas buenas prácticas en la revisión del componente estructural de un proyecto constructivo, resaltando la normativa y su experiencia.

Es indispensable, para la revisión del componente estructural de un proyecto de construcción, contar con buenas prácticas, las cuales implican, entre otros, incluir profesionales capacitados, que cuenten con los conocimientos técnicos para evaluar la seguridad y estabilidad de la edificación, que puedan hacer una correcta revisión de la normativa existente y aplicable y revisen detalladamente los cálculos, diseños, memorias, planos y todos los documentos relacionados.

Este estudio pretende contribuir a que estas buenas prácticas se realicen de forma eficiente, por lo cual formulamos un listado de chequeo, basado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 y demás normas aplicables. Las tablas que conforman el listado de chequeo se organizaron con base a los pasos que enumera el reglamento NSR-10, en los capítulos A.1.3.4 (pasos 1 al 12), A.1.3.5 y A.1.3.6. Adicionalmente, y con el fin de que haya una mejor comprensión del listado, se presenta la referencia del reglamento para cada punto, enumerando el título, capítulo, tabla o elemento relacionado.

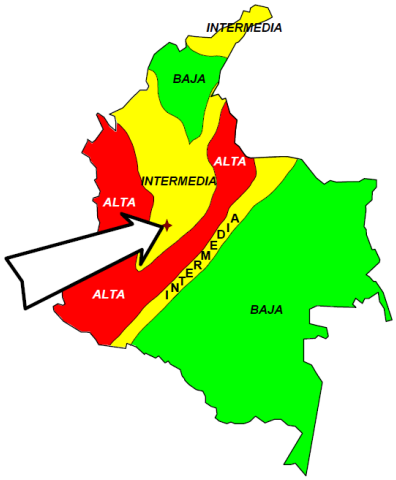
7. Resultados

7.1 Componentes prácticos de la revisión del componente estructural por parte de diseñadores, ejecutores y supervisores con experiencia y conocimientos en diseño estructural.

La referencia de esta investigación será el reglamento de construcción sismo resistente 2010, NSR-10, que al presentarse como una ley nos permite realizar seguimientos detallados y legales del proceso de diseño y construcción Estructural. En el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, se presenta, en el apéndice I, el procedimiento de diseño estructural en Colombia, el cual se resume en los pasos enumerados a continuación, desde la localización hasta el diseño de elementos estructurales que se plantean acá como las variables a revisar por diseñadores, ejecutores y supervisores con experiencia y conocimientos en diseño estructural.

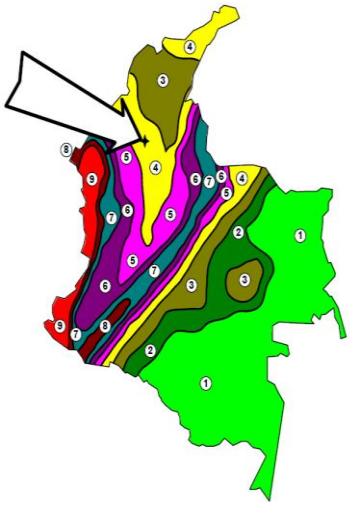
Paso 1: localización, nivel de amenaza sísmica y valor del Aa y Av. En la NSR-10 se plantea entregar la información en memorias y planos. El supervisor y el revisor estructural deben constatar la citación de la normativa y el cumplimiento del criterio expuesto en planos.

Figura 8. *Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de zonificación sísmica del Capítulo A.2*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Figura 9. *Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de valores de Aa y Av del Capítulo A.2*



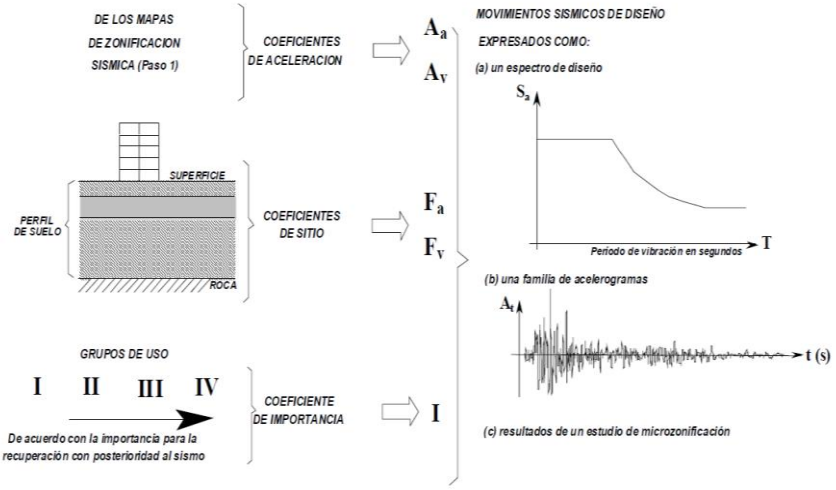
Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Paso 2: definición de los movimientos sísmicos de diseño: En este paso se definen los coeficientes de sitio y el coeficiente de importancia.

Con los parámetros anteriores, definidos en los pasos 1 y 2, se procede a elaborar el espectro de diseño, para lo cual se debe encontrar el espectro de aceleraciones, Sa, el cual se expresa como una fracción de la gravedad, para un coeficiente del 5% del amortiguamiento crítico, el cual se debe utilizar en el diseño. De igual manera se debe calcular los diferentes periodos que

sirven para calcular el espectro de diseño, tales como el periodo inicial T0, el periodo corto TC y el periodo largo TL. Lo anterior se encuentra consignado en el Reglamento NSR-10, capitulo A.2.6. El supervisor y el revisor estructural deben constatar la citación de la normativa y que el dato expuesto esté en memorias y planos.

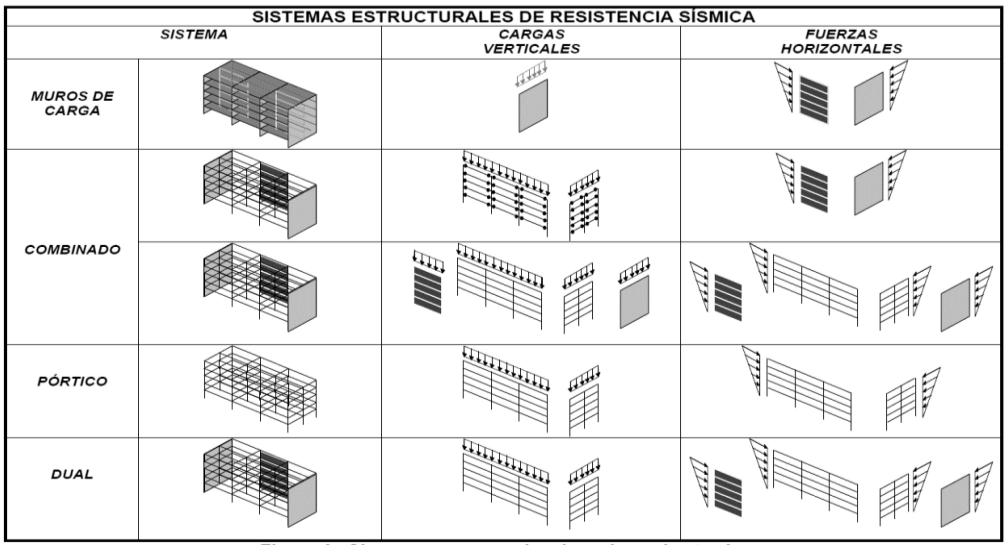
Figura 10. *Procedimiento para obtener los movimientos sísmicos de diseño*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

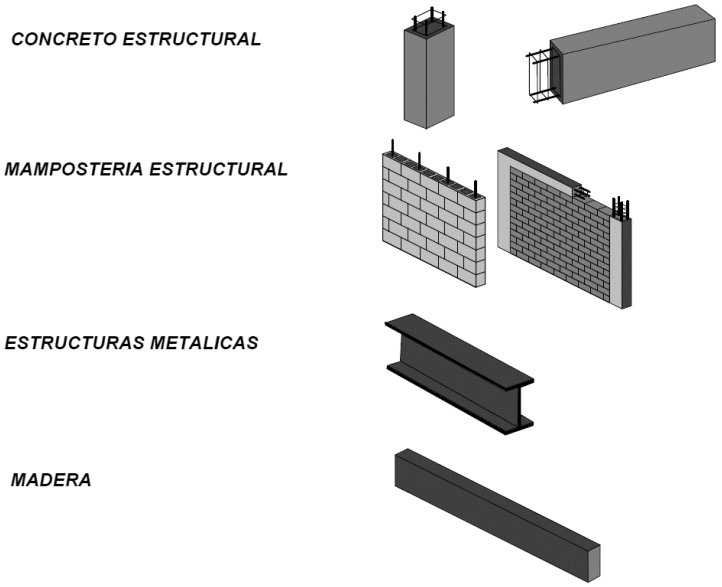
Paso 3: definición de las características de la estructuración y del material empleado: en este paso se definen los sistemas estructurales de resistencia sísmica (ver Figura 11), los materiales estructurales (figura 12), la demanda de capacidad de disipación de energía y la zona de amenaza sísmica (figura 13 y figura 14). El supervisor y el revisor estructural deben constatar la citación de la normativa y la información en planos constructivos.

Figura 11. *Sistemas estructurales de resistencia sísmica*



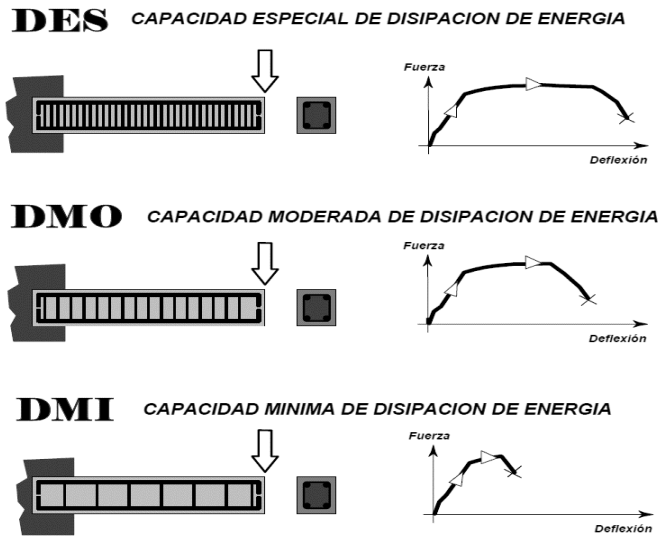
Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Figura 12. *Materiales estructurales*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Figura 13. *Definición de la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Figura 14. *Restricciones al uso de sistemas y materiales estructurales*

CAPACIDAD DE DISIPACIÓN ENERGÍA	ZONA DE AMENAZA SÍSMICA		
	BAJA	INTERMEDIA	ALTA
MÍNIMA DMI	✓	no	no
MODERADA DMO	✓	✓	no
ESPECIAL DES	✓	✓	✓

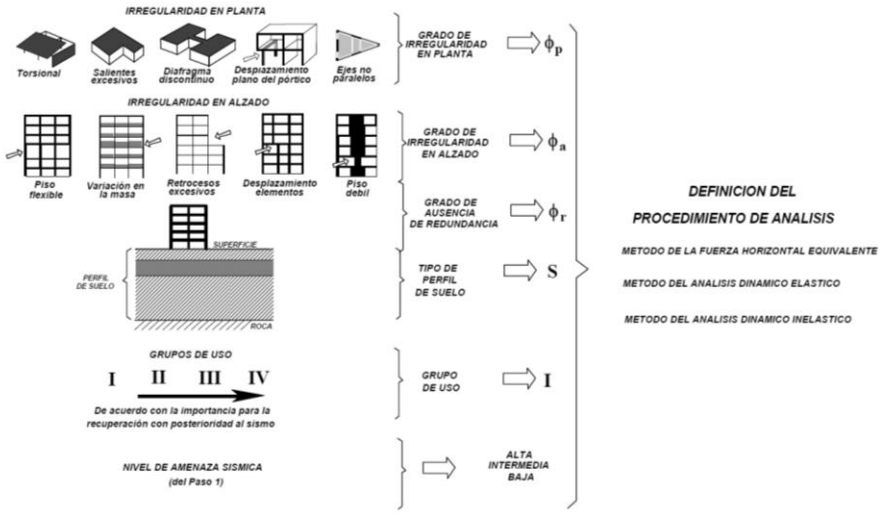
Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Los elementos del sistema estructural de resistencia sísmica, y sus conexiones, deben diseñarse utilizando todas las solicitaciones requeridas por el Título B del Reglamento, debidamente combinadas según se exige allí. Las fuerzas sísmicas obtenidas del análisis F_s, se reducen, dividiéndolas por el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R, correspondiente al sistema estructural de resistencia sísmica, para obtener las fuerzas sísmicas de diseño ($E=F_s/R$) que se emplean en las combinaciones de carga prescritas en el Título B. Lo anterior se encuentra consignado en el Reglamento NSR-10, capitulo A.3.7.1.

Paso 4: grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis: en este paso se define la irregularidad en planta, irregularidad en altura, el grado de ausencia de redundancia y finalmente, el procedimiento de análisis empleado. El supervisor y el revisor estructural constatan que existan los coeficientes en memoria y que exista el coeficiente R de disipación de energía en planos y memorias.

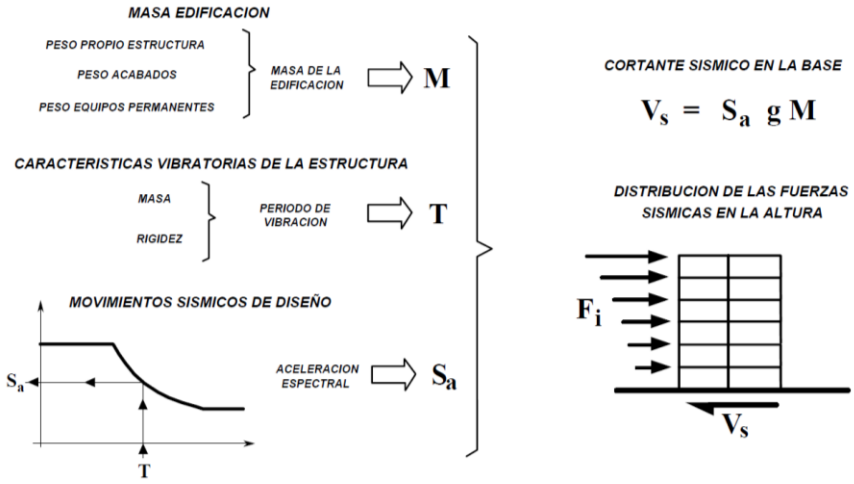
Paso 5: obtención de las fuerzas sísmicas de diseño. En este paso se obtiene la masa de la edificación, las características vibratorias de la estructura, los movimientos sísmicos de diseño y finalmente, el cortante sísmico en la base y la distribución de las fuerzas sísmicas en altura. El supervisor y el revisor estructural deben constatar la citación de la normativa y la existencia de la aceleración espectral usada (Sa).

Figura 15. *Procedimiento para definir el grado de irregularidad de la estructura y el método de análisis sísmico*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Figura 16. *Procedimiento para obtener las fuerzas sísmicas de diseño*



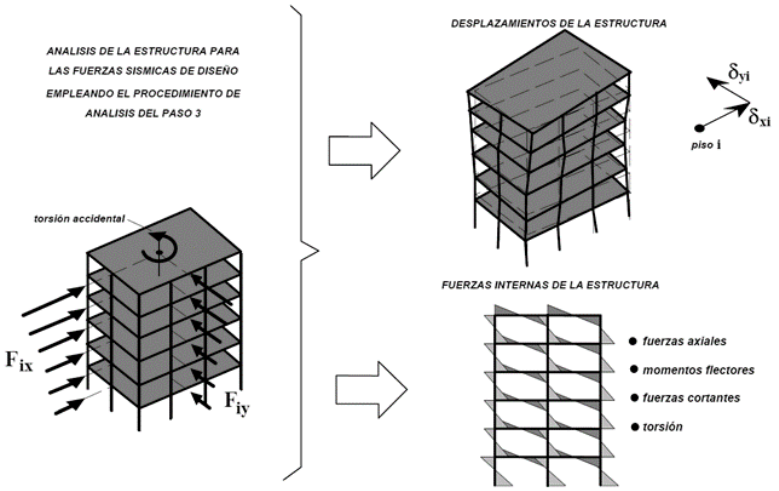
Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

El valor del cortante dinámico total en la base, V_{tj}, obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones de análisis, j, no puede ser menor que el 80 por ciento para estructuras regulares, o que el 90 por ciento para estructuras irregulares, del cortante sísmico en la base V_s, calculado por el método de la fuerza horizontal equivalente del Capítulo A.4. Lo anterior se encuentra consignado en el Reglamento NSR-10, capitulo A.5.4.5.

Paso 6: análisis de la estructura. En este paso se hace el análisis de la estructura para las fuerzas sísmicas de diseño.

Pasto 7: desplazamientos horizontales. En este paso se calculan los desplazamientos de la estructura y las fuerzas internas de la misma, tales como fuerzas axiales, momentos flectores, fuerzas cortantes y torsión.

Figura 17. *Paso 6 y 7 Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de análisis de la estructura*

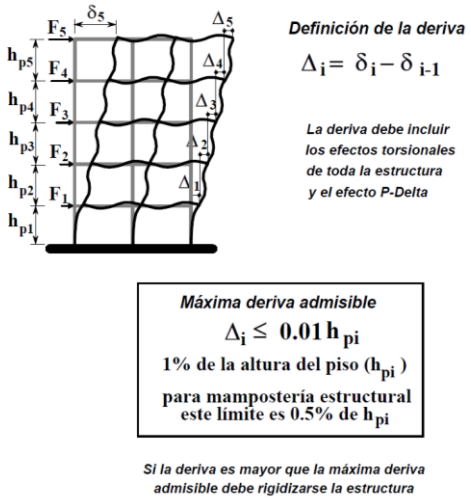


Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Paso 8: análisis de derivas. En este paso se obtienen las derivas de la edificación y se verifica si supera a la deriva máxima admisible. El supervisor y el revisor estructural deben constatar la citación de la normativa y el cumplimiento del criterio expuesto.

Se entiende por deriva el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación. La deriva está asociada con los siguientes efectos durante un temblor: (a) deformación inelástica de los elementos estructurales y no estructurales, (b) estabilidad global de la estructura, (c) daño a los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica y a los elementos no estructurales, tales como muros divisorios, particiones, enchapes, acabados, instalaciones eléctricas, mecánicas, etc. y (d) alarma y pánico entre las personas que ocupen la edificación. Lo anterior se encuentra consignado en el Reglamento NSR-10, capitulo A.6.

Figura 18. *Procedimiento de verificación de las derivas*



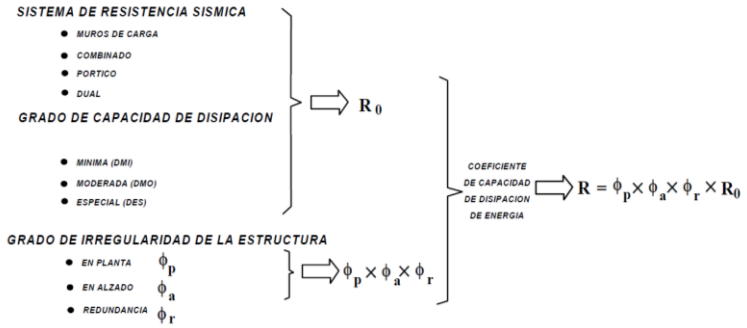
Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Paso 9: separación entre Estructuras Adyacentes por Consideraciones Sísmicas. Aunque este paso no está definido explícitamente en el apéndice I del Reglamento NSR-10, este estudio considera importante incluirlo dentro de los pasos a tener en cuenta, toda vez que todas las partes de la estructura deben diseñarse y construirse para que actúen como una unidad integral para efectos de resistir las fuerzas sísmicas, a menos que se separen a una distancia suficiente para evitar la colisión nociva entre las partes. Para determinar la distancia mínima de separación debe sumarse el valor absoluto de los desplazamientos horizontales obtenidos en A.6.2.1 para cada una de las porciones de la edificación en la dirección perpendicular a la junta que las separe, a menos que se tomen medidas para que no se presente daño a la estructura al utilizar una distancia mayor. Lo anterior se encuentra consignado en el Reglamento NSR-10, capitulo A.6.5. El supervisor y el revisor estructural deben constatar la citación de la normativa y la información en planos constructivos.

Paso 10: diseño de los elementos estructurales. En este paso se hace el diseño de los elementos estructurales (diseño por resistencia), una vez superados los pasos anteriores (diseño por rigidez), y con base en los parámetros, cargas y demás componentes previamente enunciados.

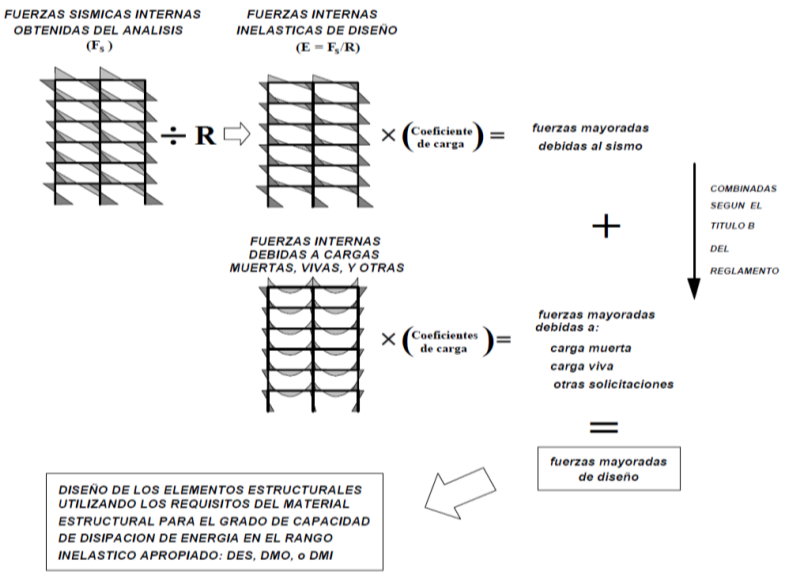
El supervisor y el revisor estructural deben constatar la citación de la normativa y la existencia de una memoria de cálculo o soporte de este paso.

Figura 19. *Procedimiento de obtención del coeficiente de disipación de energía R*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

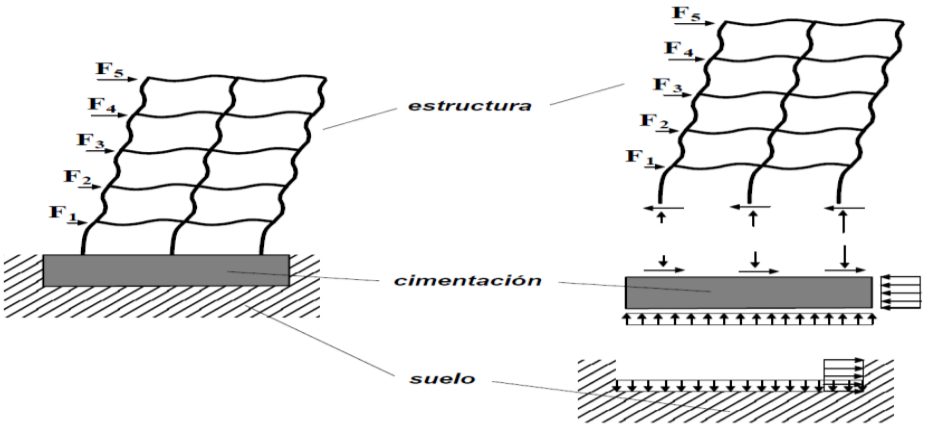
Figura 20. *Procedimiento de obtención de las fuerzas mayoradas de diseño*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Paso 11: diseño de la cimentación. En este paso se hace el diseño de la cimentación que puede ser superficial o profunda, con base en los resultados obtenidos del diseño y atendiendo las recomendaciones del estudio de suelos. El supervisor y el revisor estructural deben constatar la citación de la normativa y la existencia de una memoria de cálculo o soporte de este paso.

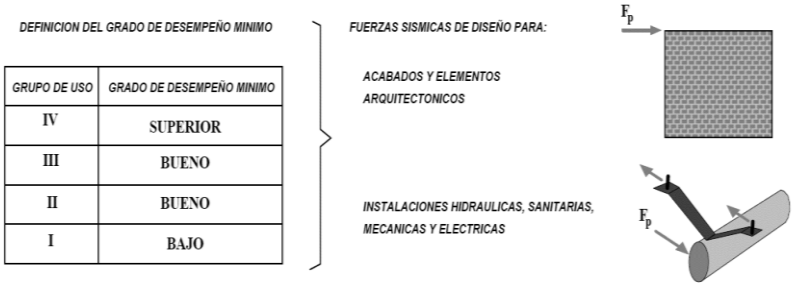
Figura 21. *Procedimiento de obtención de las fuerzas en la cimentación y los esfuerzos sobre el suelo*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Paso 12: diseño de elementos no estructurales. Este paso incluye los diseños de mampostería, divisiones, acabados, elementos arquitectónicos e instalaciones hidráulicas, sanitarias y eléctricas, entre otros. El supervisor y el revisor estructural deben constatar la citación de la normativa y la existencia de una memoria de cálculo o soporte de este paso, así como identificar los planos constructivos aplicados.

Figura 22. *Procedimiento de diseño de los elementos no estructurales*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

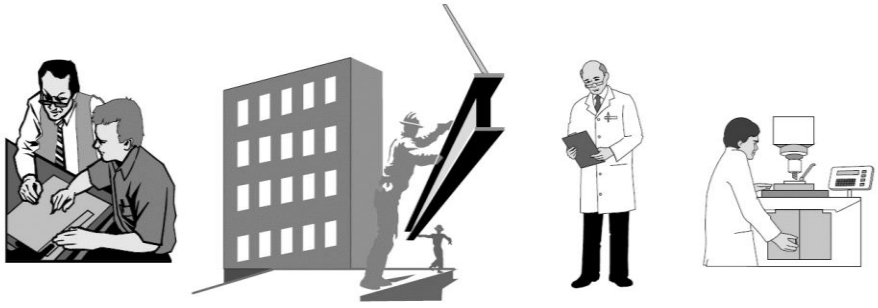
Paso 13: revisión de los diseños. Este paso incluye las diferentes revisiones a los diseños que se hagan al proyecto, en sus diferentes componentes (arquitectónico, estructural, geotécnico, de instalaciones, etc.). Para nuestro estudio, este paso cobra vital importancia, pues es justamente aquí donde enfocamos las buenas prácticas para la supervisión del componente estructural.

Paso 14: construcción y supervisión técnica independiente. Según el reglamento, para todas las edificaciones con un área de construcción mayor a 2.000 m^2, debe haber una supervisión técnica independiente. Adicionalmente, el reglamento indica que los directores de construcción y los supervisores técnicos independientes deben tener las cualidades establecidas en la Ley 400 de 1997.

Figura 23. *Revisión de los diseños*

Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

Figura 24. *Construcción y Supervisión Técnica Independiente*



Tomado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010)

7.2 Aspectos de la revisión estructural en los que se presentan dudas o falencias con base en literatura y casos de estudio.

Con la intención de determinar todos los aspectos específicos en los que se puedan presentar dudas o falencias en la revisión del componente estructural, a continuación, y con base en los casos de estudio, se mencionan algunos aspectos a destacar:

Normativas y códigos de diseño: los códigos y normativas de diseño estructural se actualizan regularmente, como es el caso del Reglamento NSR-10, que ha sufrido múltiples actualizaciones en sus decretos complementarios y es posible que algunos ingenieros o arquitectos no estén completamente actualizados con las últimas versiones. Esto podría llevar a la aplicación incorrecta de criterios de diseño y estándares de seguridad al momento de hacer una revisión del componente estructural.

Análisis y diseño sísmico: Colombia es un país sísmicamente activo, por lo que el diseño y análisis sísmico adecuado de las estructuras es fundamental.

Mecánica de suelos y geotecnia: el conocimiento de la mecánica de suelos y la geotecnia es esencial para evaluar la capacidad de carga del suelo, la integración suelo estructura y de esta manera diseñar cimentaciones adecuadas.

En las siguientes tablas, se indican algunos aspectos, como parte de este estudio, relacionados con este tema en cuestión.

Tabla 1. *Resumen de situaciones encontradas y causas probables en el componente de geotecnia*

Componente	Situación detectada	Causa probable
Geotecnia	Ocurrencia de asentamientos diferenciales en la estructura	Falta de ensayos a profundidad o mayor número de muestras en el estudio de suelos. Falta de recomendaciones adecuadas en el estudio de suelos.
	Asentamientos excesivos de las columnas que generaron asentamientos diferenciales significativos, los cuales, a su vez, tuvieron una incidencia negativa en la distribución de cargas en las columnas.	Deficiencias en el estudio de suelos y/o en el diseño estructural de la cimentación
	Problemas por asentamientos que se evidenciaron en daños en mampostería.	Deficiencias en el estudio de suelos y/o en el diseño estructural de la cimentación
	No se cumplieron las normas de sismorresistencia, hubo fallas en los estudios de suelos y no se contó con planos estructurales definitivos.	Fallas en el estudio de suelos que llevaron a errores en el diseño y construcción

Nota: Esta tabla indica, con base a lo investigado en los casos de estudio en los numerales 4.1.2 y 4.1.3., un resumen de situaciones negativas detectadas en el componente geotécnico y su causa probable.

Tabla 2. *Resumen de situaciones encontradas y causas probables en el componente de diseño estructural*

Componente	Situación detectada	Causa probable
Estructura	Deficiencia en el dimensionamiento y diseño de elementos estructurales principales	Falencias en el diseño estructural
	Deflexiones verticales excesivas en las placas de entrepiso que generan la necesidad de rellenos de nivelación para la instalación adecuada de los terminados de piso.	Mal dimensionamiento de las placas de entrepiso que ocasionó deflexiones excesivas
	El edificio presenta una clara deficiencia en el dimensionamiento y diseño de los elementos estructurales principales generando con esto una falta de capacidad estructural en los mismos ante las cargas gravitacionales impuestas.	Falencias graves en el diseño estructural

Componente	Situación detectada	Causa probable
	No se cumplieron las normas de sismorresistencia, hubo fallas en los estudios de suelos y de calado y no se contó con planos estructurales definitivos.	Falta de cumplimiento de norma y no se entregaron los planos definitivos
	Las columnas no tenían la sección adecuada en el marco de la NSR 10	Falencias graves en el diseño estructural
	En los planos estructurales, no presenta detallado de las conexiones de las diagonales, hay ausencia de la información sobre el sistema de conexiones.	Fallas en detallado de planos y en diseños complementarios

Nota: Esta tabla indica, con base a lo investigado de los casos de estudio en los numerales 4.1.2., 4.1.3.; 4.1.4., y 4.1.7., un resumen de situaciones negativas detectadas en el componente de diseño estructural y su causa probable.

Tabla 3. *Resumen de situaciones encontradas y causas probables en el componente de construcción*

Componente	Situación detectada	Causa probable
Construcción	Sobrecargas extraordinarias en la edificación	Cambios en obra no permitidos o no consultados con los diseñadores
	Deficiencia en las propiedades de materiales de construcción	Utilización de materiales deficientes en obra
	Columnas con asentamientos pronunciados en la obra. Los modelos analíticos indican que, de haberse construido según lo especificado, dicha columna no ha debido sufrir dichos asentamientos.	Malas prácticas constructivas
	El edificio fue diseñado y calculado para construir cuatro plantas. La constructora Quiroz al momento de la eventualidad había construido seis plantas, sobrepasando los cálculos estructurales y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente del 2010 (NSR-10).	Falta de responsabilidad en los procesos constructivos, sin contar con el diseñador estructural ni con el ingeniero geotecnista
	Las bases del edificio fueron socavadas después de encontrarse construidas para dar paso a un semi sótano de parqueo que no estaba contemplado en el diseño original, las zapatas de los cuatro extremos del edificio quedaron flotantes y la constructora no subsano este fenómeno a tiempo.	Falta de responsabilidad en los procesos constructivos, sin contar con el diseñador estructural ni con el ingeniero geotecnista
	La resistencia de las mezclas de concreto no cumplía con consistencia	Fallas en los materiales de construcción

Componente	Situación detectada	Causa probable
	necesaria para la edificación como arena, gravilla y cemento.	
	Fallas en la geometría de la estructura.	Malas prácticas constructivas
Construcción	La estructura falló por la falta de elementos como las riostras.	Malas prácticas constructivas
	Según planos estructurales, se observan riostras con nudos articulados. Sin embargo, durante el proceso constructivo no se instalaron dichas riostras.	No se siguieron las recomendaciones de planos
	Fisuras y grietas en los cordones de soldadura	Procesos de soldadura inadecuados

Nota: Esta tabla indica, con base a lo investigado de los casos de estudio en los numerales 4.1.2., 4.1.4., y 4.1.7., un resumen de situaciones negativas detectadas en el componente de construcción y su causa probable.

Estas situaciones encontradas, las cuales se resumen en las tablas 1, 2 y 3, nos hablan de errores presentados en los componentes de geotecnia, diseño estructural y construcción. Con base en lo anterior, se plantea una serie de tablas a manera de lista de chequeo para que el revisor de los diseños estructurales, pueda obtener información adicional sobre cada uno de los ítems descritos, tal como se presenta en el numeral 7.4 del presente documento.

7.3 Propuesta de Variables de revisión estructural en un proyecto de edificación

Con base en la información recopilada, se presenta a continuación, un resumen de los errores detectados en los casos de estudio. Estos errores corresponden a estudios y diseños y en algunos casos, a construcción, o corresponden a ambos. Se presenta a continuación, por tanto, en la tabla 4 un resumen de los errores detectados en el edificio Space. En la tabla 5, de manera similar para el edificio Bernavento, en la tabla 6, para el edificio Blas de Lezo II, en la tabla 7, para el

edificio Asensi, en la tabla 8, para el edificio Continental Towers, en la tabla 9, para el edificio Kampala y en la tabla 10, para el proyecto Torre La Escollera.

De la misma manera, se incluye unas figuras donde se indica algunos aspectos a destacar para algunos de los proyectos mencionados anteriormente, a fin de ilustrar de una mejor manera, algunas de las situaciones detectadas.

Tabla 4. *Errores detectados en el Edificio Space*

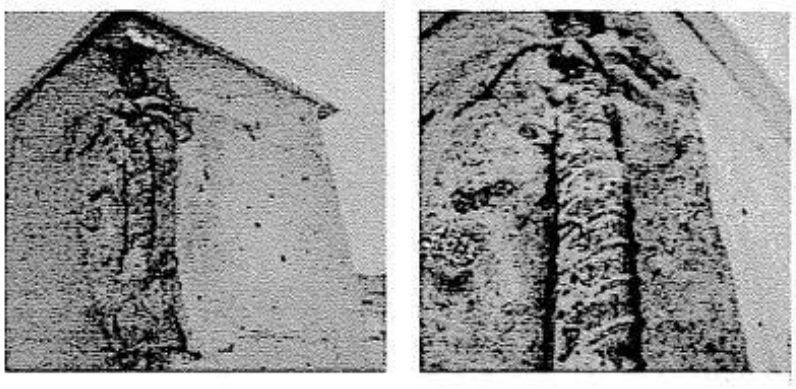
Proyecto	Situación detectada	Estudios y diseños	Construcción
Edificio Space	Falla en las propiedades de materiales de construcción		X
	Ocurrencia de asentamientos diferenciales en la estructura		X
	Asentamientos excesivos de las columnas que generaron asentamientos diferenciales significativos, los cuales, a su vez, tuvieron una incidencia negativa en la distribución de cargas en las columnas localizadas sobre la cimentación.	X	X
	Deflexiones verticales excesivas en las placas de entrepiso que generan la necesidad de rellenos de nivelación para la instalación adecuada de los terminados de piso	X	X
	El edificio presenta una clara deficiencia en el dimensionamiento y diseño de los elementos estructurales principales generando con esto una falta de capacidad estructural en los mismos ante las cargas gravitacionales impuestas	X	
	El edificio presenta una deficiencia en el dimensionamiento de los elementos estructurales de entrepiso (vigas y placas) por lo cual se presenta una sobrecarga considerable por cuenta de los rellenos requeridos para la nivelación de los pisos.	X	

Nota: En esta tabla, se presenta un resumen de los errores detectados en el caso de estudio del Edificio Space de la ciudad de Medellín, Colombia. Entre estos errores se destaca sobrecargas en la edificación, materiales deficientes, errores en el diseño estructural, reducción de secciones de elementos, asentamientos excesivos no controlados, entre otros. Es de mencionar que esta información es tomada de lo ya expuesto anteriormente en el subcapítulo *4.1.2* en donde se describen *las causas probables del colapso*.

Figura 25. *Falla en Columna - Edificio Space*

Nota: se observa falla en la columna la cual se originó por exceso de carga, lo que ocasiono estrangulamiento y por tal motivo falla del elemento estructural, este tipo de falla puede presentarse en proyectos por deficientes procesos constructivos y no realizar los debidos seguimientos por el ente encargado.
Tomado de Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería (2014)

Figura 26. *Desprendimiento de concreto en columna - Edificio Space*



Nota: se observa desprendimiento del concreto en una columna, este puede ser originado por mal vibrado o exceso de vibrado generando segregaciones en el concreto, que no se cuenta con el suficiente recubrimiento o el desencofre no se realiza en los tiempos adecuados. Este tipo de fallas se puede presentar en las obras debido a un mal proceso constructivo.
Tomado de Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería (2014)

Figura 27. *Falla en columna desde el interior de apartamento Edificio Space*

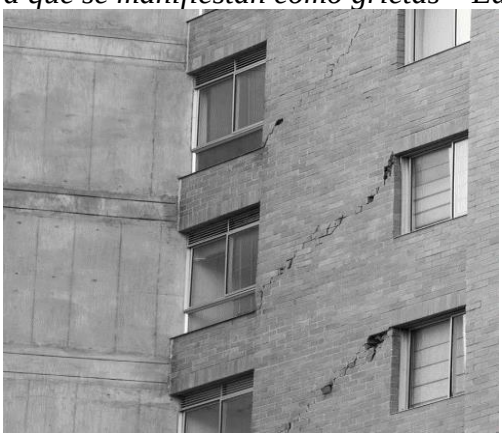
Nota: Se observa falla en columna por exceso de carga que ocasionó estrangulamiento y falla del elemento estructural. Un tipo de falla que se puede presentar en diferentes proyectos de construcción, debido a malos procesos constructivos y/o errores en diseño estructural.
Tomado de Benítez, (2021)

Tabla 5. *Errores detectados en el Edificio Bernavento*

Proyecto	Situación detectada	Estudios y diseños	Construcción
Bernavento	Daño estructural en una de las columnas inferiores	X	X
	Las deformaciones acumuladas presentadas desde la construcción del edificio, lleva al límite los niveles aceptables para la intervención durante el proceso de reforzamiento y pone en riesgo inminente de colapso la edificación	X	X
	Presenta fallas en su estructura	X	
	Pilas de cimentación debían estar a 20 metros y los registros mostraban que estaban entre 14 y 15 metros de profundidad		X
	Problemas por asentamientos que se evidenciaron como daños en mampostería.		X
	No se cumplieron las normas de sismorresistencia, hubo fallas en los estudios de suelos y de calado y no contó con planos estructurales definitivos	X	X

Nota: Esta tabla fue adaptada de la información recopilada en el subcapítulo 4.1.3., y en ella se presenta los errores detectados en el caso de estudio Edificio Bernavento de la ciudad de Medellín, Colombia. Entre tales errores se destaca deformaciones acumuladas presentadas desde la construcción, fallas estructurales, dimensiones constructivas menores a las indicadas en los diseños y en general, incumplimiento de normatividad

Figura 28. *Fallas en la estructura que se manifiestan como grietas – Edificio Bernavento*



Nota: se observa grietas presentadas a nivel de fachada, debidas a deformaciones excesivas presentadas por asentamientos según el caso de estudio. En muchos casos se puede presentar este tipo de fallas debido al no cumplimiento del reglamento sismo resistente, además de esto pueden ser recurrentes en construcciones en donde las cimentaciones son apoyadas sobre terrenos no compactados.
Tomado de El Colombiano, (2018)

Tabla 6. *Errores detectados en el Edificio Blas de Lezo II*

Proyecto	Situación detectada	Estudios y diseños	Construcción
Blas de Lezo II	El edificio fue diseñado y calculado para construir cuatro plantas. La constructora Quiroz al momento de la eventualidad había construido seis plantas, sobrepasando los cálculos estructurales y el Reglamento Sismo Resistente del 2010 (NSR-10).		X
	Sumado a lo anterior, las bases del edificio fueron socavadas después de encontrarse construidas para dar paso a un semi sótano de parqueo que no estaba contemplado en el diseño original, las zapatas de los cuatro extremos del edificio quedaron flotantes y la constructora no subsano este fenómeno a tiempo		X
	La calidad de loa materiales no correspondía a los requerimientos para este tipo de obras de construcción		X
	Las columnas no tenían la sección adecuada en el marco del reglamento NSR 10	X	X

Nota: Esta tabla fue adaptada de la información recopilada en el subcapítulo 4.1.4., se presenta los errores detectados en el caso de estudio Edificio Blas de Lezo II. Entre tales errores se destaca no cumplimiento del Reglamento Sismo Resistente y fallas en las dosificaciones de la mezcla empleada.

Figura 29. *Edificio Blas de Lezo II / Escombros del Edificio*

Nota: se observa, en la parte izquierda, el edificio Blas de Lezo II en etapa de construcción y en la parte derecha, los escombros luego de que el edificio sufriera el colapso.
Tomado de Revista Metro (2017).

Tabla 7. *Errores detectados en el Edificio Asensi*

Proyecto	Situación detectada	Estudios y diseños	Construcción
Asensi	Fallas en su construcción		X
	Afectación por el sobre esfuerzo de uno de los elementos estructurales (columna)	X	

Nota: Esta tabla fue adaptada de la información recopilada en el subcapítulo 4.1.5, en esta se presenta el caso de estudio Edificio Asensi de la ciudad de Medellín, Colombia. Entre tales errores se destaca fallas en su construcción y afectación por sobre esfuerzo en columnas.

Figura 30. *Edificio ASENSI*

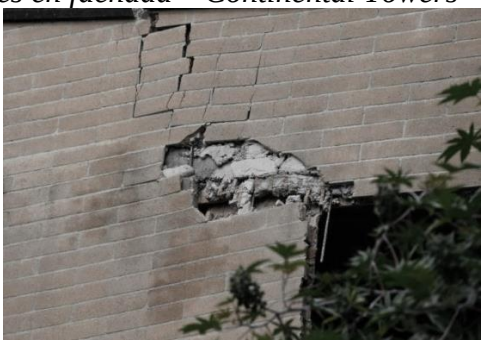
Nota: se observa una vista general del edificio Asensi en su etapa de construcción.
Tomado de Teleantioquia Noticias (2022).

Tabla 8. *Errores detectados en el Edificio Continental Towers*

Proyecto	Situación detectada	Estudios y diseños	Construcción
Continental Towers	Fallas estructurales en columnas con riesgo de colapso	X	X
	Redistribución de la carga vertical y aumento significativo de las demandas de fuerza en algunas partes de la estructura. Sucedió luego de que se removieran algunos muros de mampostería.		X

Nota: Esta tabla fue adaptada de la información recopilada en el subcapítulo 4.1.5, en el caso de estudio Edificio Continental Towers. Entre tales errores se destaca fallas estructurales en columnas y aumento significativo de las demandas de fuerza en algunos sectores de la edificación.

Figura 31. *Fallas estructurales en fachada – Continental Towers*

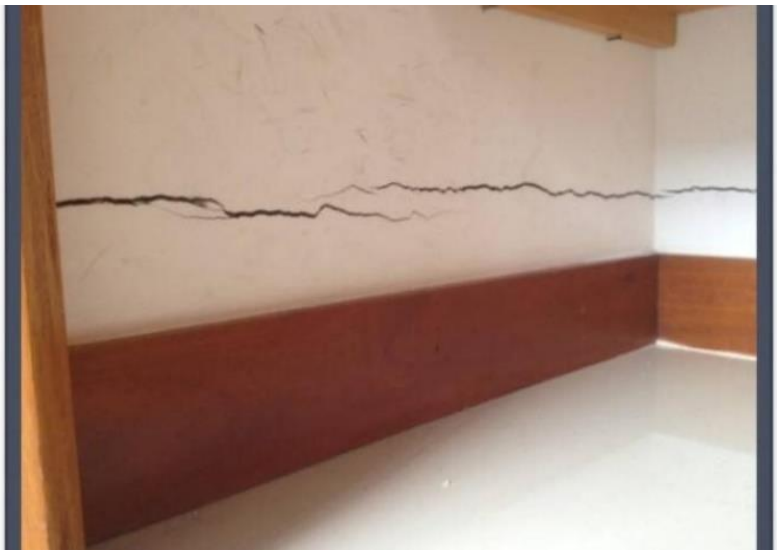


Nota: se observa falla estructural en un elemento de fachada del edificio Continental Towers ocasionado por posibles movimientos del terreno o fuerzas cortantes. Se puede presentar este tipo de fallas en obras debido al incumplimiento del reglamento sismo resistente
Tomado de El Tiempo, (2022).

Figura 32. *Fallas en dinteles – Continental Towers*

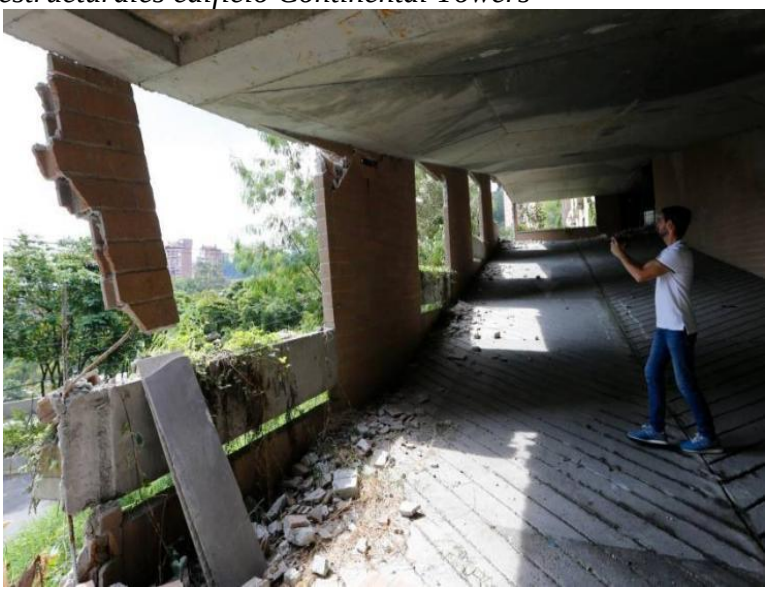
Nota: se observa discontinuidad y fallas en los dinteles en un piso del edificio Continental Towers, este tipo de falla puede presentarse en obras por el mal procedimiento constructivo en el momento de armado, encofrado y vaciado del concreto que no permite una continuidad del elemento produciendo un debilitamiento de este.
Tomado de El Tiempo, (2022).

Figura 33. *Grietas – Continental Towers*



Nota: se observa una serie de grietas de bastante profundidad en un muro del edificio Continental Towers, producido posiblemente por asentamientos diferenciales de la estructura. Este tipo de fallas puede presentarse por el incumplimiento del reglamento sismo resistente o fallas en el proceso constructivo.
Tomado de El Tiempo, (2022).

Figura 34. *Fallas estructurales edificio Continental Towers*



Nota: se observa desprendimiento de elementos de fachada, falla de elementos no estructurales y asentamientos excesivos en la losa de uno de los pisos del edificio Continental Towers. Son fallas que se pueden presentar por no cumplir con la norma sismo resistente, fallas en el proceso constructivo y el continuo movimiento del terreno.
Tomado de El Tiempo, (2022).

Figura 35. *Deformaciones de placas de piso – Continental Towers*

Nota: se observan deformaciones y asentamientos en la placa de piso del edificio Continental Towers. En muchos casos se puede presentar este tipo de fallas en obra debido al incumplimiento de la norma sismo resistente y/o fallas en el proceso constructivo, tales como en construcciones donde las cimentaciones son apoyadas sobre terrenos no compactados.
Tomado de El Tiempo, (2022).

Tabla 9. *Errores detectados en el Edificio Kampala*

Proyecto	Situación detectada	Estudios y diseños	Construcción
Kampala	Fallas estructurales en columnas	X	X
	Las fisuras y grietas entre los muros no estructurales de los apartamentos están asociadas a las deformaciones de los sistemas de losa.		X

Nota: Esta tabla fue adaptada de la información recopilada en el subcapítulo 4.1.6, para el caso de estudio Edificio Kampala. Entre tales errores se destaca fallas estructurales en columnas, fallas en el diseño estructural e incumplimiento de normatividad.

Figura 36. *Fisuras y grietas Edificio Kampala*

Nota: se observa fisuras y grietas en uno de los muros del edificio Kampala, por asentamiento excesivos de las placas de entrepiso.
Tomado de 360 radio (2019).

Tabla 10. *Errores detectados en el Edificio Torre La Escollera*

Proyecto	Situación detectada	Estudios y diseños	Construcción
Torre la Escollera	Fallas en la geometría de la estructura	X	X
	La estructura falló por la falta de elementos como las riostras	X	X
	Según planos estructurales, se observan riostras con nudos articulados. Sin embargo, durante el proceso constructivo no se instalaron dichas riostras.	X	X
	Ausencia de las riostras y las losas durante su construcción, así como la falta de rigidez de los nudos de conexión.	X	X
	Durante la construcción la Torre de la Escollera se presentó corrosión, lo cual genera una reducción de la sección transversal de las columnas y detrimento de la resistencia de las mismas		X
	Fisuras y grietas en los cordones de soldadura		X
	Las columnas estudiadas en los planos estructurales para la modelación de la estructura no son compactas y no cumplen con la resistencia a compresión para las combinaciones de cargas críticas durante la construcción.	X	X

Proyecto	Situación detectada	Estudios y diseños	Construcción
	En los planos estructurales, no presenta detallados de las conexiones de las diagonales, hay ausencia de la información sobre el sistema de conexiones.	X	

Nota: Esta información fue recopilada del subcapítulo 4.1.7 anteriormente mencionado. Se presenta los errores detectados en el caso de estudio Edificio Torre La Escollera de la ciudad de Cartagena, Colombia. Entre tales errores se destaca fallas estructurales por torsión de columnas metálicas, fallas en los procesos constructivos por falta de instalación de riostras y losas de entrepiso, desplazamientos exagerados que hicieron inviable la continuación de la construcción y falta de detallado en planos estructurales, entre otros.

Figura 37. *Deformación de la Torre de la Escollera*

Nota: se observa deformación excesiva en los elementos verticales del edificio Torre La Escollera. Tomado de Carrascal y Cifuentes, (2016)

Figura 38. *Fractura vertical soldadura columna – Torre la Escollera*

Nota: se observa fractura o desprendimiento de soldadura en elementos verticales del edificio Torre La Escollera
Tomado de Carrascal y Cifuentes, (2016)

Figura 39. *Pandeo y rotura vertical – Torre la Escollera*

Nota: se observa pandeo y rotura vertical de una columna
Tomado de Carrascal y Cifuentes, (2016)

Figura 40. *Sistema de nudos – Torre la Escollera*

Nota: se observa un sistema de nudos con soldadura en el edificio Torre La Escollera. Tomado de Carrascal y Cifuentes, (2016)

Figura 41. *Desplazamiento Torre Escollera – Torre la Escollera*

Nota: se observa una vista general de lo que fue el desplazamiento del edificio Torre La Escollera. Tomado de Carrascal y Cifuentes, (2016)

En resumen, se puede evidenciar que en la mayoría de los proyectos relacionados en este documento (Space, Bernavento, Blas de Lezo II, Asensi, Continental Towers, Kampala y Torre La Escollera), se presentan errores o falencias constructivas o derivadas de estudios y diseños. Cada una de las imágenes presentadas refleja lo expuesto en las tablas, en las cuales se menciona la situación detectada de cada caso.

Hay innumerables fallas en la construcción y que se pueden presentar en la práctica profesional, porque el constructor no respeta los planos de diseños y hace cambios en obra sin previa autorización de los profesionales involucrados, tales como el arquitecto, el ingeniero diseñador estructural, el ingeniero geotecnista, el ingeniero hidrosanitario, el ingeniero eléctrico, entre otros. Dichas fallas, en la mayoría de los casos, ocasionan problemas a futuro que ponen en riesgo la integridad y estabilidad de la construcción. Estas fallas se presentan principalmente, tal como se puede apreciar en las tablas anteriores, por deficiencias en los materiales de construcción utilizados, sobrecargas en obra, malos procedimientos constructivos, aumento de pisos o área de construcción, entre otras.

7.4 Propuesta de alcance de revisión del componente estructural

Se presenta a continuación, a nivel general, lo que este estudio considera, puede ser el alcance de una revisión del componente estructural de proyectos de construcción en Colombia por parte del revisor y supervisor (con experiencia y conocimientos en diseño estructural) en planos y memorias, el cual debe incluir como mínimo, los siguientes aspectos:

- Avalúo de cargas
- Definición de los parámetros de diseño sísmico
- Procedimiento de análisis estructural

- Verificación de las derivas y deflexiones verticales
- Procedimientos de diseño de los elementos estructurales y no estructurales.
- Procedimientos de diseño de la resistencia al fuego de los elementos estructurales
- Revisión de los planos estructurales
- Revisión del seguimiento de las recomendaciones del estudio geotécnico

Además, debe incluir:

- Resistencia global
- Comparación demanda/capacidad
- Rigidez global
- Configuración estructural
- Irregularidades estructurales: Irregularidades en planta, en altura y grado de ausencia de redundancia.
- Trayectoria de cargas
- Redundancia estructural
- Diafragmas horizontales
- Cimentaciones
- Concepto de ductilidad y su aplicación a la disipación de energía sísmica
- revisiones simplificadas de riesgos potenciales estructurales
- interferencia y daños de elementos no estructurales

Lo anterior está definido en el capítulo A.1.3.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, donde habla acerca de la revisión de los diseños, indicando que los planos, memorias y estudios del proyecto deben ser revisados para efectos de la

obtención de la licencia de construcción por profesionales facultados para tal fin. Dicha revisión debe efectuarse según lo establecido en la Ley 400 de 1997 modificada por la Ley 1796 de 2016 y el presente Reglamento NSR-10.

Finalmente, con base en toda la información recopilada, se procede a organizarla, tabularla y presentarla a continuación, en forma de tablas a manera de lista de chequeo o guía. Para tal efecto, se siguió el orden establecido por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, en prácticamente todos los Títulos, los cuales se relacionan en cada tabla con una referencia del Reglamento, a fin de que el revisor pueda obtener información sobre cada uno de los items descritos de una forma más clara y efectiva.

Tabla 11. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 1*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 1	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Descripción general del proyecto					Tabla A.1.3-1		I.4.3.1
2	Número de pisos					Tabla A.1.3-1		I.4.3.1

Tabla 12. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 2*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 2	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Tipo de losa de entrepiso					Título B		I.4.3.1
2	Tipo de cubierta					Título B		I.4.3.1
3	Carga muerta de entrepiso					Capítulo B.3	Space - Continental Towers	I.4.3.1
4	Carga muerta de cubierta					Capítulo B.3	Space - Continental Towers	I.4.3.1

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 2	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
5	Carga viva de entrepiso					Capítulo B.4	Space - Continental Towers	I.4.3.1
6	Carga viva de cubierta					Capítulo B.4	Space - Continental Towers	I.4.3.1
7	Análisis de carga de viento					Capítulo B.6	Space - Continental Towers	I.4.3.1
8	Carga de granizo					B.4.8.3	Space - Continental Towers	I.4.3.1
9	Otras cargas					Título B		I.4.3.1

Tabla 13. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 3*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 3	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Ubicación (Zona de amenaza sísmica)					A.2.3 - Apéndice A.4		I.4.3.1
2	Valor de Aa					A.2.2 - Apéndice A.4		I.4.3.1
3	Valor de Av					A.2.2 - Apéndice A.4		I.4.3.1

Tabla 14. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 4*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 4	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Valor de Ad					Apéndice A.4		I.4.3.1
2	Valor de Ae					Apéndice A.5		I.4.3.1
3	Tipo de suelo					A.2.4.4 - Tabla A.2.4-1		I.4.3.1

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 4	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
4	Valor de Fa					A.2.4.5 - Tabla A.2.4-3		I.4.3.1
5	Valor de Fv					A.2.4.6 - Tabla A.2.4-4		I.4.3.1
6	Coeficiente de importancia					A.2.5		I.4.3.1
7	Espectros de diseño					A.2.6		I.4.3.1

Nota: En la tabla se presenta el paso 4 que incluye valores de parámetros sísmicos de diseño de la edificación en estudio

Tabla 15. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 5*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 5	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Concreto estructural (f'c)					Título C	Space - Bernavento	I.2.4.6 - I.4.3.1
2	Acero de refuerzo (fy)					C.3.5	Space - Bernavento	I.2.4.6 - I.4.3.1
3	Acero estructural (fy)					Título F	Space - Bernavento - La Escollera	I.2.4.6 - I.4.3.1
4	Otros					Capítulo C.3		I.2.4.6 - I.4.3.1
5	Sistema de resistencia sísmica para fuerzas horizontales					A.3.7.1	Space	I.2.4.6 - I.4.3.1
6	Sistema de resistencia sísmica para cargas verticales					A.3.7.1	Space	I.2.4.6 - I.4.3.1
7	Capacidad de disipación de energía					A.3.7.1	Space	I.2.4.6 - I.4.3.1

Nota: En la tabla se presenta el paso 5 que incluye materiales de diseño y descripción del sistema principal de resistencia sísmica.

Tabla 16. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 6*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 6	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Grado de disipación de energía básico (Ro)					A.2.9.4	Space - La Escollera	I.4.3.1
2	Irregularidades en planta (tabla A.3.6)					A.3.3.4	Space - La Escollera	I.4.3.1
3	Irregularidades en altura (tabla A.3.7)					A.3.3.5	Space - La Escollera	I.4.3.1
4	Grado de ausencia de redundancia (A.3.3.8)					A.3.3.8	Space - La Escollera	I.4.3.1
5	Reducción de R para estructuras irregulares y con ausencia de redundancia (A.3.3.3)					A.3.3.3	Space - La Escollera	I.4.3.1

Tabla 17. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 7*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 7	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Método de la Fuerza Horizontal Equivalente					Capítulo A.4	Space - La Escollera	I.4.3.1
2	Método de análisis dinámico modal					Capítulo A.5	Space - La Escollera	I.4.3.1
3	Otros métodos (especificar)					A.3.4		I.4.3.1

Tabla 18. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 8*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 8	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Modos de vibración de la estructura					A.5.4	Space	I.4.3.1
2	Porcentaje de participación de la masa					A.5.4.2	Space	I.4.3.1
3	Ajuste de cortante					A.5.4.5	Space	I.4.3.1

Tabla 19. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 9*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 9	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Desplazamientos horizontales de la estructura					Capítulo A.6	Space - Bernavento - La Escollera	I.4.3.1
2	Efectos torsionales de la estructura					A.3.6.7	Space - Bernavento - La Escollera	I.4.3.1

Tabla 20. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 10*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 10	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Verificación de la deriva para sismo de diseño					Capítulo A.6	Space - Bernavento - La Escollera	I.4.3.1
2	Verificación de la deriva para umbral de daño					A.12.2	Space - Bernavento - La Escollera	I.4.3.1

Tabla 21. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 11*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 11	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Fuerza sísmica de diseño, Fs					A.3.4.2	Space	I.4.3.1
2	Combinaciones de carga					Capítulo B.3	Space	I.4.3.1

Tabla 22. *Capítulo A.1.3.4 – Paso 12*

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 2	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
1	Diseño de vigas aéreas por flexión					Capítulo C.10	Space - Bernavento	I.4.3.1
2	Diseño de vigas aéreas por cortante					Capítulo C.11	Space - Bernavento	I.4.3.1
3	Revisión de cumplimiento de C.21.6.1 para columnas					C.21.6.1	Space - Bernavento	I.4.3.1
4	Diseño de columnas a flexo compresión					Capítulo C.10	Space - Bernavento - Blas De Lezo Ii - Asensi - Continental Towers - Kampala - La Escollera	I.4.3.1
5	Diseño de columnas a cortante					Capítulo C.11	Space - Bernavento - Blas De Lezo Ii - Asensi - Continental Towers - Kampala - La Escollera	I.4.3.1
6	Chequeo de jerarquía (6/5)					Capítulo C.10	Space - Bernavento	I.4.3.1
7	Diseño de muros estructurales					Capítulo C.14		I.4.3.1

Ítem	Capitulo A.1.3.4 - Paso 2	Valor (1)	Cumple (2)	No cumple (3)	No aplica (4)	Ref. NSR-10	Caso de estudio	Referencia Título I
8	Diseño de elementos de borde					Capítulo C.14	Space	I.4.3.1
9	Diseño de estructuras metálicas					Título F	La Esollera	I.4.3.1
10	Otros diseños							I.4.3.1

Tabla 23. *Capítulo A.1.3.5*

Ítem	Capitulo A.1.3.5	Valor (1)	Cumple (2)	No Cumple (3)	No Aplica (4)	Ref. Nsr-10	Caso De Estudio	Referencia Título I
1	Tabla de reacciones para la cimentación					Título H, Capítulo A.7, Capítulo C.15		I.4.3.1
2	Coherencia técnica con el estudio de suelos (perfil de suelo, capacidad portante, profundidad de desplante, asentamientos)					Título H, Capítulo A.7, Capítulo C.15	Space - Bernaventto	I.4.3.1
3	Diseño de zapatas aisladas					Título H, Capítulo A.7, Capítulo C.15	Space	I.4.3.1
4	Diseño de zapatas combinadas					Título H, Capítulo A.7, Capítulo C.15	Space	I.4.3.1
5	Diseño de losas de cimentación					Título H, Capítulo A.7, Capítulo C.15	Space	I.4.3.1
6	Diseño de pilotes					Título H, Capítulo A.7,	Space - Bernaventto	I.4.3.1

Ítem	Capitulo A.1.3.5	Valor (1)	Cumple (2)	No Cumple (3)	No Aplica (4)	Ref. Nsr-10	Caso De Estudio	Referencia Título I
						Capítulo C.15		
7	Diseño de caissons					Título H, Capítulo A.7, Capítulo C.15	Space	I.4.3.1
8	Diseño de vigas de cimentación					Título H, Capítulo A.7, Capítulo C.15	Space - Bernaventto	I.4.3.1
9	Diseño de pedestales					Título H, Capítulo A.7, Capítulo C.15	Space	I.4.3.1

Tabla 24. *Capítulo A.1.3.6*

Ítem	Capitulo A.1.3.6	Valor (1)	Cumple (2)	No Cumple (3)	No Aplica (4)	Ref. Nsr-10	Caso De Estudio	Referencia Título I
1	Diseño de Elementos no estructurales					Capítulo A.9	Space - Bernavento - Kampala	I.4.3.1 - I.4.3.2.1
2	Diseño de escaleras					Capítulo A.9, Capítulo C.13		I.4.3.1 - I.4.3.2.1
3	Diseño de losas					Capítulo C.13	Space	I.4.3.1 - I.4.3.2.1
4	Diseño de mampostería					Capítlo A.9	Space - Bernavento - Kampala	I.4.3.1 - I.4.3.2.1
5	Diseño de ménsulas					Capítlo A.9		I.4.3.1 - I.4.3.2.1
6	Otros diseños (especificar)							I.4.3.1 - I.4.3.2.1

Tabla 25. *Requisitos y documentos adicionales*

Ítem	Requisitos Y Documentos Adicionales	Valor (1)	Cumple (2)	No Cumple (3)	No Aplica (4)	Ref. Nsr-10	Caso De Estudio	Referencia Titulo I
1	Documento de expedición de la matrícula profesional					No Aplica		I.1.4.1
2	Memorial de responsabilidad					No Aplica		I.1.4.1
3	Estudio de postgrado en el área de estructuras o cinco (5) años de experiencia en el área de estructuras					No Aplica		I.1.4.1 - I.3.2.1
4	Especificaciones técnicas de construcción					No Aplica	Space - Bernaventto	I.2.2.1 - I.2.4.3 - I.4.3.2
5	Verificación de resistencia al fuego					No Aplica		I.4.3.1
6	Acero figurado					No Aplica		I.2.3.1 - I.2.2.4
7	Cuadros de cantidades					No Aplica		
8	Presupuesto de componentes estructurales					No Aplica		
9	Análisis de precios unitarios de componentes estructurales					No Aplica		

8. Conclusiones

De acuerdo con la revisión de la información bibliográfica relacionada se puede establecer que desde los diseños mismos hasta la ejecución de la obra se pueden seleccionar criterios normativos como relevantes para la correcta revisión estructural por parte del supervisor especialista en proyectos de edificaciones, y que de acuerdo con los criterios estructurales se puede buscar evaluar los componentes en la etapa de diseño como la falta del uso del título I, falta de seguimiento al título A y falta de revisión de otros criterios técnicos estructurales.

De acuerdo con los casos de estudio y la literatura revisada se puede establecer que desde los diseños mismos hasta la ejecución de la obra se pueden seleccionar criterios normativos y prácticos que, aunque evidentes, resulta importante resaltar en componentes de ejecución y construcción. Es de vital importancia recalcar que un correcto diseño, acompañado de una correcta revisión estructural evita en el futuro que se presente errores en el desarrollo de la obra por lo que debe existir una fuerte relación entre la gerencia de diseño y construcción. Esto no solamente aplica para el componente estructural, si no que se debe considerar para todos los estudios y diseños del proyecto, desde la topografía hasta el presupuesto final y especificaciones técnicas.

Dentro del estudio de los elementos prácticos en la revisión del componente estructural y con base en las oportunidades de mejora detectadas en los casos de estudio, se generó un listado de chequeo con las variables propuestas, que servirá como guía para que el profesional encargado del proceso de revisión estructural siga una serie de parámetros a nivel normativo y exija el cumplimiento de éstos, en caso de omisión por parte de los diseñadores estructurales.

9. Recomendaciones

Como fruto del presente estudio, nos permitimos presentar a consideración las siguientes recomendaciones:

Todo profesional que esté involucrado en el diseño estructural y/o su revisión, llámese diseñador estructural, revisor externo, organismo de control, curador urbano, secretario de planeación, etc., debe cumplir y exigir el cumplimiento de la normatividad vigente, a fin de evitar errores que ocasionen en un futuro reprocesos, modificaciones en obra o en el peor de los casos, tragedias con pérdidas económicas y con el cobro de vidas humanas. Sin entrar en criterios particulares, la revisión del título A y el título I juega un papel importante.

Es de vital importancia llevar un orden al momento de hacer una revisión del componente estructural, la cual puede ser por medio de una guía, un listado de chequeo o algún otro mecanismo que el profesional considere necesario y que impida que se omita la revisión de algunos requisitos.

Es importante entender que la responsabilidad, civil o penal, que pueda implicar el cometer errores en el diseño estructural, tal como lo establece la ley, recae no solamente en el diseñador estructural como tal, sino también en los todos los profesionales encargados de hacer la revisión y aprobación de los diseños.

Referencias

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010*). Reglamento colombiano de construcción sismoresistente.*https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf

Aspectos clave en la supervisión técnica de edificaciones. (s.f.). Consultado en https://360enconcreto.com/blog/detalle/aspectos-clave-en-la-supervision-tecnica-de-edificaciones/

Benítez Álvarez, D. M., (2021). *Análisis de sobreesfuerzos en colapso de edificaciones de concreto reforzado* [Tesis de pregrado, Ingeniería Civil]. Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/20214/4/BenitezDiego_2021_AnalisisSobreesfuerzosEdificaciones.pdf

Carrascal Jiménez, M. C., y Cifuentes Tarquino, G. (2016). *Estudio de los niveles de esfuerzos, desplazamientos y efectos de esbeltez, con y sin arriostramientos de la estructura de la Torre de la Escollera en la Ciudad de Cartagena, Colombia.* [Tesis de pregrado, Ingeniería Civil]. Pontificia Universidad Javeriana Repositorio. https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21407/CarrascalJimenezMariaCamila2016.pdf?sequence=1

Chávez, D., Cañón, L., Rodríguez, J., y Suarez, D. (2022). *Unas fallas que ocasionaron el colapso del space y la ausencia de interventoría* [Monografía de pregrado, Ingeniería Civil]. Corporación Universitaria Minuto de Dios. https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/14758/1/T.IC_DannaElizabethSu%C3%A1rezBeltr%C3%A1n._2022.pdf

Congreso de la Republica de Colombia. Ley 1796 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"*.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78234.

Departamento administrativo de gestión de riesgos de desastre DAGRD. (2018), *Auditoría especial implosión del edificio Bernavento del municipio de Medellín*. Contraloría general de Medellín. www.cgm.gov.co

Edificio Continental Towers en Medellín es historia: así fue el momento exacto de la demolición. (s.f.), *https://www.bluradio.com/blu360/antioquia/edificio-continental-towers-en-medellin-es-historia-asi-fue-el-momento-exacto-de-la-demolicion-rg10*

El colombiano. (2014). *Edificio San Miguel del Rosario hay que intervenirlo,* Recuperado de Rochelhttps://www.elcolombiano.com/historico/edificio_san_miguel_del_rosario_hay_que_intervenirlo_ya_rochel-MFEC_313816

El colombiano. (2018). *250 personas evacuadas por riesgo en edificio de la Loma de los Bernal,* Recuperado de https://www.elcolombiano.com/antioquia/evacuacion-en-el-edificio-bernavento-para-revisar-fallas-estructurales-IX8462831

El colombiano. (2022). *Informe muestra que Continental Towers está torcido y en alto riesgo de colapsar*. Recuperado de https://www.elcolombiano.com/antioquia/informe-tecnico-revela-que-continental-towers-esta-torcido-y-en-alto-riesgo-de-colapsar-bo18614423

El Espectador. (2014). *Min Vivienda iniciará este lunes trámite de ley 'anti-Space.* 'Recuperado de https://www.elespectador.com/politica/minvivienda-iniciara-este-lunes-tramite-de-ley-anti-space-article-517976/

El Espectador. (2014). *Se cumplió implosión para derribar torres del Space*. Recuperado de https://www.elespectador.com/colombia/medellin/se-cumplio-implosion-para-derribar-torres-del-space-article-518318/

El Espectador. (2022). *Los detalles de la demolición del Continental Towers en Medellín.* Recuperado de https://www.elespectador.com/colombia/medellin/los-detalles-de-la-demolicion-del-continental-towers-en-medellin/

El rol de la supervisión técnica en la vivienda segura (s.f.). https://revista.fasecolda.com/index.php/revfasecolda/article/view/585/555

El tiempo. (2007). *Pieza por pieza será desmontada la Torre La Escollera, afectada por un vendaval el 13 de mayo*. Recuperado de https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3565655

El Tiempo, (2017). *Las otras edificaciones hechas por CDO, constructora del Space.* Recuperado dehttps://www.eltiempo.com/colombia/medellin/edificaciones-hechas-por-la-constructora-cdo-quien-hizo-el-edificio-space-138844

El Tiempo. (2018). *¿Por qué derribaron el edificio Bernavento de Medellín?*. Recuperado de https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/estas-son-las-razones-por-las-cuales-van-a-derribar-el-edificio-bernavento-de-medellin-230242

El Tiempo. (2022). *Estas son las grietas del Continental Towers que lo tienen al borde del colapso.* Recuperado de https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/continental-towers-las-grietas-y-danos-que-lo-tienen-al-borde-del-colapso-701327

El Universal. (2014). *Ordenan demolición total del edificio Space.* Recuperado de https://www.eluniversal.com.co/colombia/ordenan-demolicion-total-del-edificio-space-148989-PREU239677

El Universal. (s.f.). *Portales de Blas de Lezo II, el edificio de papel.* Recuperado de https://www.eluniversal.com.co/sucesos/portales-de-blas-de-lezo-ii-el-edificio-de-papel-276792-EBEU392170

Infobae. (2022). *Serian diez los edificios de Medellín que tienen problemas estructurales.* Recuperado de https://www.infobae.com/america/colombia/2022/09/14/serian-diez-los-edificios-de-medellin-que-tienen-problemas estructurales

Latitud 19. (2021). *¿Por qué la supervisión es tan importante en las obras?* https://latitud-19.com/por-que-la-supervision-es-tan-importante-en-las-obras/.

Madariaga Suarez. L. C., (2019). *Estudio de caso desplome edificio portales de Blas de Lezo II.* [Trabajo de grado, Ingeniería y Arquitectura].Universidad Católica de Manizales. https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2475/1/Liliana%20del%20Carm%C3%A9n%20Madariaga.pdf

Peña Gómez. L. D., (2016). *Guía práctica de supervisión técnica para la estandarización de procedimientos obligatorios en la construcción de estructuras de edificaciones según NSR-10*. [Tesis de pregrado, Ingeniería Civil]. Universidad Santo Tomas. https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29874.

Pérez Jiménez. L. J., (2009). *Supervisión técnica en la construcción de edificaciones.* [Tesis de pregrado, Ingeniería Civil]. Universidad de Sucre. https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/344/T692.5P438.pdf?sequence=2

Revista Metro. (2017). *Tragedia en Blas de Lezo destapa existencia de una 'Curaduría' fantasma en Cartagena.* Recuperado de https://revistametro.co/2017/04/tragedia-en-blas-de-lezo-destapa-existencia-de-una-curaduria-fantasma-en-cartagena/

Rincón Molina. A., y Méndez Zuñiga. W. (2022). *Guía Para Supervisión Técnica De Proyectos De Construcción*. Cali, Valle del Cauca, Colombia. [Tesis de pregrado, Ingeniería Civil]. Universidad Santo Tomas https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/48491/2022anderssonrincon1.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Solís Carcaño, R.G., (2004). *La Supervisión de obra, p. 55-60.* https://www.redalyc.org/pdf/467/46780106.pdf

Teleantioquia Noticias. (2022). *Asensi podría tener el mismo destino del Continental.* Recuperado de https://www.teleantioquia.co/noticias/asensi-podria-tener-el-mismo-destino-del-continental/

Torres Amaya, J. (2019). Guía de supervisión técnica independiente de edificaciones de infraestructura educativa. [Trabajo de grado, Arquitectura].Fundación Universidad de América- Repositorio Institucional Lumieres. https://hdl.handle.net/20.500.11839/8365

Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería. (2014)., Bogotá D.C., Colombia. *Concepto Técnico En Relación A Las Causas Más Probables Del Colapso Del Edificio Space.* https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_15/Noticias/Shared%20Content/Documentos/2014/Uniandes_Informe-Final-Fase3-SPACE-Resumen.pdf

Vargas Martínez, Y. A., (2021). *Elaboración de una guía de supervisión técnica para diseños y planos estructurales de edificaciones de concreto reforzado basados en NSR-10* [Tesis de

pregrado, Ingeniería Civil]. Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña. https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/handle/20.500.14167/566

360radio. (2019). *Ed. Kampala, del mismo constructor de Space, tiene fallas estructurales* Recuperado de https://360radio.com.co/ed-kampala-del-mismo-constructor-de-space-tiene-fallas-estructurales/43472/