

ANÁLISIS DE FALLAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES: ESTUDIOS DE CASOS
REALES Y LECCIONES PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL.



JEAN FABER SANCHEZ ACOSTA
STEVEN FELIPE GUTIERREZ BLANCO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
VILLAVICENCIO

2026

ANÁLISIS DE FALLAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES: ESTUDIOS DE CASOS
REALES Y LECCIONES PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL.

JEAN FABER SANCHEZ ACOSTA
STEVEN FELIPE GUTIERREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista Estructural

Director
Ing. JHONATAN AUGUSTO FORERO PABON, MSc
Magister en Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS
VILLAVICENCIO

2026

Autoridades académicas

P. Alvaro Jose ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.

Vicerrector Académico General

P. Luis Antonio ALFONSO VARGAS, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Juan Francisco COREA HIGUERA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaría de División Seccional Villavicencio

Ing. Jhonatan Augusto FORERO PABON, MSc

Decano Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo de grado, en primer lugar, a nuestras familias, por ser nuestro apoyo constante durante este proceso, por su confianza, paciencia y por motivarnos a seguir adelante en cada etapa de nuestra formación.

A todas aquellas personas que, de una u otra manera, estuvieron presentes durante este camino y nos brindaron una palabra de ánimo, un consejo o su apoyo cuando más lo necesitábamos.

Finalmente, nos dedicamos este logro a nosotros mismos, por el esfuerzo, compromiso, dedicación y perseverancia que nos permitieron superar cada desafío y llegar hasta este momento. Este trabajo representa no solo la culminación de una etapa académica, sino también el resultado de un proceso de aprendizaje, crecimiento personal y profesional que llevaremos con nosotros en los nuevos retos que vendrán.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a Dios por permitirnos culminar satisfactoriamente esta etapa de nuestra formación profesional y por brindarnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para alcanzar este logro.

A nuestras familias, expresamos nuestro más sincero agradecimiento por su apoyo incondicional, comprensión y acompañamiento durante todo nuestro proceso académico. Su confianza y motivación fueron fundamentales para superar los diferentes retos que se presentaron a lo largo de este camino.

Contenido

	Pág.
Resumen	10
Abstract	12
Introducción	14
Capítulo 1 Generalidades	15
1.1 Objetivos	15
1.1.1. Objetivo General.....	15
1.1.2. Objetivos Específicos	15
1.2 Alcance.....	15
1.3 Estado del arte	16
1.4 Planteamiento del Problema.....	17
1.4.1. Formulación del problema.....	18
1.5 Justificación.....	18
1.6 Marco Teórico Conceptual.....	20
1.7 Marco normativo	21
Capítulo 2 Metodología.....	23
Capítulo 3. Descripción de los Casos de Estudio.....	25
3.1. Casos de estudio.....	25
3.1.1 Caso 1: Champlain Towers South	26
3.1.2 Caso 2: Hyatt Regency Walkways	28
3.1.3 Caso 3: Ronan Point	30
Capítulo 4. Análisis de Fallas Estructurales.....	32
4.1 Caso 1: Champlain Towers South.....	32
4.2 Caso 2: Hyatt Regency Walkways	34
4.3 Caso 3: Ronan Point.....	36
Capítulo 5. Análisis Comparativo de los Casos	39
5.1 Interpretación de los resultados.....	40
Capítulo 6. Lecciones y Recomendaciones para el Cálculo y Diseño Estructural.....	41

6.1. Caso 1: Champlain Towers South.....	41
6.2. Caso 2: Hyatt Regency Walkways.....	41
6.3. Caso 3: Ronan Point.....	41
6.4. Recomendaciones para la práctica profesional	41
Capítulo 7. Conclusiones.....	43
Referencias bibliográficas	45
Anexos.....	47

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Marco normativo	21
Tabla 2. Metodología	23
Tabla 3. Matriz comparativa.	39

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema de Champlain Towers South	26
Figura 2, Configuración de las pasarelas del Hyatt Regency.....	28
Figura 3. Edificio Ronan Point.....	30
Figura 4. Colapso de Champlain Towers South.....	32
Figura 5. Mecanismo de falla por punzonamiento en la zona de piscina	34
Figura 6. Colapso de las pasarelas del Hyatt Regency.....	34
Figura 7. Detalle de la conexión viga cajón–tirante de las pasarelas del Hyatt Regency	36
Figura 8. Propagación del colapso en Ronan Point.....	36
Figura 9. Sistema constructivo de paneles prefabricados de Ronan Point.....	38

Resumen

Las fallas estructurales constituyen una problemática de alta relevancia para la ingeniería civil debido a sus consecuencias sobre la seguridad de las personas, la funcionalidad de las edificaciones y el patrimonio. El análisis de fallas ocurridas en estructuras reales permite identificar deficiencias asociadas al diseño, las conexiones, los procesos constructivos, la durabilidad, el mantenimiento y la capacidad de los sistemas estructurales para redistribuir cargas ante eventos no previstos. En este contexto, la presente monografía analizó tres casos representativos: el colapso progresivo parcial de Ronan Point, ocurrido en Londres en 1968; el colapso de las pasarelas del Hotel Hyatt Regency, ocurrido en Kansas City en 1981; y el colapso parcial de Champlain Towers South, ocurrido en Surfside, Florida, en 2021.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con alcance descriptivo y analítico, mediante revisión documental de informes técnicos oficiales, artículos científicos, documentos académicos y literatura especializada. Se emplearon matrices de revisión documental para caracterizar cada caso, analizar los mecanismos y causas de falla, identificar lecciones y formular recomendaciones. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo mediante criterios comunes de mecanismo iniciador, elemento crítico, influencia relativa del diseño, la construcción y el mantenimiento, trayectorias alternativas de carga y controles preventivos.

Los resultados mostraron que los tres eventos presentaron mecanismos diferentes, pero compartieron condiciones relacionadas con la reducción de los márgenes de seguridad y con deficiencias en la concepción, ejecución, revisión o conservación de los sistemas estructurales. En Ronan Point, una explosión de gas provocó la pérdida de elementos portantes y desencadenó un colapso progresivo, evidenciando la importancia de la continuidad, la redundancia y las trayectorias alternativas de carga. En el Hyatt Regency, la insuficiente capacidad de una conexión entre vigas cajón y tirantes se relacionó con una modificación del detalle estructural sin una verificación suficiente. En Champlain Towers South, NIST estableció que el proceso de colapso comenzó con fallas por punzonamiento en dos conexiones entre columnas del garaje y la losa del deck de la piscina, seguidas de redistribución de cargas y fallas adicionales.

El análisis comparativo permitió identificar que el riesgo de colapso no dependió exclusivamente de la resistencia de un elemento aislado, sino de la interacción entre decisiones de diseño, modificaciones, calidad de construcción, conexiones, condiciones de servicio,

mantenimiento y capacidad del sistema para redistribuir cargas. Al contrastar estos hallazgos con el marco colombiano, se encontró que la Ley 400 de 1997, la Ley 1796 de 2016 y la NSR-10 proporcionan herramientas relevantes relacionadas con diseño, revisión, supervisión, integridad estructural y evaluación de estructuras existentes. En consecuencia, las recomendaciones se orientaron a fortalecer la revisión independiente cuando sea exigible, el control de cambios, la verificación de conexiones, la inspección y mantenimiento de edificaciones existentes y la incorporación de criterios de integridad y robustez.

Palabras clave: fallas estructurales, colapso estructural, ingeniería forense, colapso progresivo, conexiones estructurales, robustez estructural, seguridad estructural.

Abstract

Structural failures are highly relevant to civil engineering because of their consequences for human safety, building functionality, and economic assets. The analysis of failures in real structures makes it possible to identify deficiencies associated with design, connections, construction processes, durability, maintenance, and the ability of structural systems to redistribute loads under unforeseen events. This monograph analyzed three representative cases: the partial progressive collapse of Ronan Point in London in 1968; the collapse of the Hyatt Regency Hotel walkways in Kansas City in 1981; and the partial collapse of Champlain Towers South in Surfside, Florida, in 2021.

The research followed a qualitative approach with descriptive and analytical scope, based on documentary review of official technical reports, scientific articles, academic documents, and specialized literature. Documentary review matrices were used to characterize each case, analyze failure mechanisms and causes, identify lessons, and formulate recommendations. A comparative analysis was then conducted using common criteria: initiating failure mechanism, critical element, relative role of design, construction and maintenance, alternative load paths, and preventive controls.

The results showed that the three events involved different mechanisms but shared conditions related to reduced safety margins and deficiencies in the conception, execution, review, or maintenance of structural systems. In Ronan Point, a gas explosion caused the loss of load-bearing elements and triggered progressive collapse, highlighting the importance of continuity, redundancy, and alternative load paths. At the Hyatt Regency, inadequate capacity of a connection between box beams and hanger rods was associated with a modification of the structural detail without sufficient verification. At Champlain Towers South, NIST established that the collapse process began with punching shear failures at two connections between garage columns and the pool-deck slab, followed by load redistribution and additional failures.

The comparative analysis showed that collapse risk did not depend exclusively on the resistance of an isolated element, but on the interaction among design decisions, modifications, construction quality, connections, service conditions, maintenance, and the ability of the structural system to redistribute loads. When these findings were contrasted with the Colombian framework, Law 400 of 1997, Law 1796 of 2016, and NSR-10 were identified as relevant tools concerning

design, review, supervision, structural integrity, and assessment of existing structures. The recommendations therefore focused on strengthening independent design review when required, change control, connection verification, inspection and maintenance of existing buildings, and the incorporation of integrity and robustness criteria.

Keywords: structural failures, structural collapse, forensic engineering, progressive collapse, structural connections, structural robustness, structural safety.

Introducción

Las estructuras civiles son fundamentales para el desarrollo de la sociedad, por lo que su diseño debe garantizar condiciones adecuadas de resistencia, estabilidad y seguridad durante su vida útil. Sin embargo, a lo largo de la historia se han presentado diferentes fallas y colapsos estructurales relacionados con errores de diseño, deficiencias constructivas, problemas en los materiales, falta de mantenimiento y otros factores que pueden comprometer el comportamiento de una edificación. El estudio de estos acontecimientos permite identificar las causas que originan las fallas y generar conocimientos que contribuyan a mejorar las prácticas de la ingeniería estructural (Feld y Carper, 1997).

Los colapsos del edificio Champlain Towers South en Estados Unidos, las pasarelas del hotel Hyatt Regency en Kansas City y el edificio Ronan Point en Londres constituyen casos representativos de fallas estructurales que han permitido identificar diferentes deficiencias relacionadas con el diseño, construcción, inspección y mantenimiento de edificaciones. El análisis de estos acontecimientos ha generado importantes aprendizajes para la ingeniería, especialmente en aspectos relacionados con la revisión de diseños, las conexiones estructurales, la estabilidad y el comportamiento de las estructuras ante daños localizados (NBS, 1982; Griffiths, Pugsley y Saunders, 1968; NIST, 2026).

Por lo anterior, en el presente trabajo se realizó el análisis de estos tres casos reales de fallas estructurales, con el propósito de identificar sus principales causas, comparar los factores determinantes y establecer lecciones y recomendaciones aplicables al cálculo y diseño estructural. Para ello, se revisó la información técnica y académica disponible sobre cada caso, se sistematizaron los hallazgos en matrices documentales y se contrastaron los casos mediante criterios comunes.

Capítulo 1 Generalidades

1.1 Objetivos

1.1.1. *Objetivo General*

Analizar fallas estructurales en edificaciones reales mediante el estudio de casos representativos, con el fin de identificar sus causas principales, establecer lecciones y formular recomendaciones aplicables al diseño y a la práctica de la ingeniería estructural.

1.1.2. *Objetivos Específicos*

- Caracterizar las condiciones estructurales, técnicas y constructivas de las edificaciones seleccionadas como casos de estudio, identificando sus sistemas estructurales, criterios de diseño y contexto en el cual se desarrollaron las fallas.
- Analizar los mecanismos de falla y las causas asociadas al colapso de cada edificación, considerando aspectos relacionados con el diseño estructural, procesos constructivos, materiales, mantenimiento, inspección y factores externos que pudieron influir en su comportamiento.
- Comparar los factores determinantes identificados en los casos de estudio, estableciendo similitudes y diferencias entre los eventos de falla y su relación con la seguridad y desempeño estructural.
- Determinar las principales lecciones aprendidas derivadas del análisis de los casos estudiados, orientadas al fortalecimiento de los criterios empleados en el diseño, revisión, construcción y control de estructuras.
- Proponer recomendaciones aplicables a la práctica de la ingeniería estructural que contribuyan a la prevención de fallas similares y al mejoramiento de los procesos asociados al desarrollo de edificaciones seguras y confiables.

1.2 Alcance

El presente trabajo tuvo como alcance el análisis documental de tres casos reales de fallas estructurales: Champlain Towers South, Hyatt Regency Walkways y Ronan Point, con el propósito

de identificar las principales condiciones y factores relacionados con sus fallas, comparar los factores determinantes y reconocer las lecciones que estos acontecimientos aportaron al cálculo y diseño estructural. El estudio se desarrolló a partir de documentos técnicos, informes oficiales, artículos académicos y fuentes especializadas relacionadas con los casos seleccionados.

El análisis comprendió la descripción general de las edificaciones, sus principales características estructurales, las condiciones previas a los acontecimientos, la identificación de los elementos involucrados, los mecanismos de colapso reportados y los factores asociados a cada caso. Asimismo, se consideraron aspectos relacionados con el diseño estructural, los detalles constructivos, las conexiones, el deterioro de los materiales, el mantenimiento, la continuidad y la integridad estructural. Posteriormente, se compararon los casos mediante criterios comunes y se formularon recomendaciones diferenciadas para los actores que intervienen en el ciclo de vida de una edificación.

El trabajo se limitó al análisis de información existente y no contempló ensayos de laboratorio, inspecciones de campo, levantamientos estructurales, modelaciones estructurales avanzadas ni la reconstrucción numérica de los colapsos. Por tanto, las conclusiones se establecieron a partir de la información documental revisada y de los antecedentes técnicos disponibles para cada edificación.

1.3 Estado del arte

El estudio de fallas estructurales y de colapso progresivo ha evolucionado desde el análisis de eventos históricos hacia enfoques orientados a la robustez, la integridad estructural y la evaluación de trayectorias alternativas de carga. Feld y Carper (1997) plantearon la investigación de fallas de construcción como una herramienta para comprender la interacción entre diseño, materiales, construcción y condiciones de servicio. En el campo específico del colapso progresivo, Byfield et al. (2014) revisaron eventos históricos, procedimientos de análisis y regulaciones, destacando que una estructura que satisface los requisitos convencionales de diseño puede presentar vulnerabilidad frente a daños localizados si no dispone de suficiente robustez. Esta revisión permitió consolidar la importancia de considerar la estructura como un sistema y no únicamente como un conjunto de elementos independientes.

Los estudios posteriores ampliaron esta perspectiva. Russell et al. (2019) analizaron históricamente la evolución de las reglas prescriptivas de robustez después del colapso de Ronan Point y señalaron la necesidad de interpretar los requisitos de amarre y continuidad de acuerdo con el comportamiento mecánico de cada sistema estructural. Gerasimidis y Ellingwood (2023) revisaron los avances en investigación y práctica sobre colapso desproporcionado, mostrando la evolución de los criterios de evaluación y de las estrategias de diseño. Más recientemente, Elkady et al. (2024) sintetizaron el desarrollo de la investigación sobre colapso progresivo y robustez, identificando tendencias hacia métodos de evaluación más rigurosos y hacia la consideración conjunta de integridad, estabilidad y comportamiento sistémico. Estos antecedentes muestran un vacío pertinente para la presente monografía: aunque existe abundante literatura sobre robustez y colapso progresivo, resulta útil integrar en un mismo análisis casos históricos con mecanismos diferentes, deterioro y punzonamiento, falla de conexiones y acción accidental localizada y traducir sus lecciones al marco normativo y a la práctica de la ingeniería estructural en Colombia.

1.4 Planteamiento del Problema

El colapso de edificaciones representa una de las situaciones más críticas dentro de la ingeniería estructural, debido a que evidencia deficiencias en el desempeño de los sistemas resistentes y puede estar asociado a múltiples factores relacionados con la concepción estructural, los criterios de diseño, los procesos constructivos, la calidad de los materiales, las condiciones de servicio, el mantenimiento y los mecanismos de inspección y control.

A pesar de los avances en las metodologías de análisis y diseño estructural, diferentes edificaciones a nivel mundial han presentado fallas que han generado colapsos parciales o totales, demostrando la importancia de comprender de manera integral las causas que originaron estos eventos. Casos como Champlain Towers South, Hyatt Regency y Ronan Point evidencian que las fallas estructurales pueden derivarse de combinaciones de factores técnicos, humanos y administrativos que afectan la seguridad y confiabilidad de las estructuras.

Actualmente, el análisis detallado de fallas estructurales permite identificar errores y condiciones críticas que pueden convertirse en herramientas de aprendizaje para fortalecer los procesos de diseño, revisión, construcción y mantenimiento de futuras edificaciones. Por esta

razón, resulta necesario estudiar casos reales de colapso para establecer relaciones entre las causas identificadas y las prácticas de ingeniería que permitan prevenir la ocurrencia de eventos similares.

1.4.1. Formulación del problema

¿Cómo pueden identificarse las principales causas y mecanismos de falla presentes en edificaciones reales que han presentado colapso, mediante el análisis de casos representativos, con el fin de establecer lecciones y recomendaciones aplicables al diseño y práctica de la ingeniería estructural?

1.5 Justificación

La ingeniería estructural tiene como propósito fundamental garantizar que las edificaciones presenten condiciones adecuadas de seguridad, estabilidad y desempeño durante su vida útil. Sin embargo, a pesar de los avances en los métodos de análisis, diseño estructural, normativas técnicas y procesos constructivos, a nivel mundial se han presentado eventos de falla y colapso de edificaciones que han evidenciado la necesidad de fortalecer los criterios empleados en la concepción, cálculo, construcción, inspección y mantenimiento de estructuras.

El análisis de fallas estructurales constituye una herramienta fundamental para la ingeniería, debido a que permite comprender los mecanismos mediante los cuales una estructura pierde su capacidad resistente y determinar los factores que contribuyeron a su comportamiento inadecuado. El estudio de casos reales permite transformar eventos críticos en fuentes de conocimiento técnico, generando aprendizajes aplicables al desarrollo de mejores prácticas dentro del ejercicio profesional.

La presente investigación se justifica desde un enfoque académico y científico debido a que busca profundizar en el estudio de fallas estructurales mediante el análisis de tres casos representativos de colapso: Champlain Towers South, Hyatt Regency y Ronan Point. Estos casos permiten abordar diferentes tipos de problemáticas asociadas al desempeño estructural, tales como deficiencias en criterios de diseño, errores durante los procesos constructivos, problemas en elementos y conexiones estructurales, ausencia de controles adecuados y condiciones que afectaron la confiabilidad de las edificaciones. A partir de este análisis se pretende consolidar conocimiento

relacionado con las causas, mecanismos de falla y factores determinantes que intervienen en el comportamiento de una estructura antes de alcanzar una condición de colapso.

Desde el punto de vista técnico, la investigación aporta una visión integral sobre la importancia de considerar la estructura como un sistema donde interactúan aspectos de diseño, construcción, materiales, mantenimiento e inspección. El análisis comparativo de los casos seleccionados permitirá identificar patrones de falla y establecer criterios preventivos que puedan ser considerados durante las diferentes etapas del desarrollo de un proyecto estructural, contribuyendo al mejoramiento de los procesos de revisión y toma de decisiones en ingeniería.

La relevancia social del proyecto está relacionada con la necesidad de promover edificaciones más seguras y confiables, teniendo en cuenta que las fallas estructurales pueden generar pérdidas humanas, económicas y afectaciones significativas para las comunidades. Los resultados obtenidos beneficiarán principalmente a profesionales de la ingeniería civil, diseñadores estructurales, constructores, entidades encargadas de supervisión y estudiantes del área, al proporcionar una recopilación de experiencias reales que pueden ser utilizadas como referencia para prevenir errores similares en futuros proyectos.

En cuanto a las implicaciones prácticas, esta investigación permitirá establecer recomendaciones orientadas al fortalecimiento de la práctica del diseño estructural, resaltando la importancia de la correcta interpretación de los modelos de análisis, la revisión independiente de diseños, el control durante la construcción, la adecuada selección de materiales y la implementación de procesos de inspección y mantenimiento. De esta manera, el estudio busca aportar elementos que ayuden a reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas estructurales mediante la aplicación de criterios preventivos.

Desde el valor teórico, la investigación contribuirá a ampliar la comprensión sobre la relación existente entre las decisiones tomadas durante el diseño, construcción y operación de una edificación y su comportamiento estructural final. El análisis de diferentes escenarios de falla permitirá generar reflexiones y recomendaciones que puedan servir como base para futuros estudios relacionados con patología estructural, evaluación de vulnerabilidad y confiabilidad de sistemas estructurales.

Finalmente, el proyecto presenta articulación con las líneas de investigación relacionadas con la ingeniería estructural, específicamente en el área de análisis, diseño, evaluación del comportamiento y seguridad de estructuras. La investigación aporta al fortalecimiento del

conocimiento aplicado en la identificación de fallas y en la generación de criterios que permitan mejorar la calidad y confiabilidad de las edificaciones, promoviendo una práctica profesional orientada hacia la prevención y la seguridad estructural.

1.6 Marco Teórico Conceptual

La ingeniería estructural tiene como finalidad garantizar condiciones adecuadas de resistencia, estabilidad y seguridad frente a las acciones a las que pueden estar sometidas las edificaciones durante su vida útil. Sin embargo, las fallas estructurales pueden presentarse por factores relacionados con el diseño, los materiales, los procesos constructivos, las condiciones de servicio y el mantenimiento. Por esta razón, el estudio de fallas y colapsos constituye una herramienta para identificar errores y establecer medidas de prevención (Feld & Carper, 1997). La ingeniería forense, en este contexto, comprende procedimientos orientados a reconstruir el comportamiento de una estructura a partir de evidencia documental, física y técnica.

Uno de los conceptos centrales del trabajo fue el colapso progresivo, entendido como la propagación de una falla localizada hacia otros elementos, generando un daño desproporcionado respecto del evento inicial. Este fenómeno se relaciona con la robustez estructural, entendida como la capacidad del sistema para limitar la propagación del daño y conservar su estabilidad. La continuidad, la redundancia, la integridad de las conexiones y la existencia de trayectorias alternativas de carga constituyen mecanismos relevantes para este comportamiento (Byfield et al., 2014; Gerasimidis & Ellingwood, 2023). Las conexiones estructurales, por su parte, cumplen una función crítica porque permiten transferir fuerzas entre componentes; el caso Hyatt Regency evidencia que una modificación de una conexión puede alterar la trayectoria de cargas y reducir la seguridad del sistema (Marshall et al., 1982; Hoke, 2007).

Estos conceptos se observaron en los tres casos seleccionados. Champlain Towers South permitió estudiar la relación entre deterioro, diseño, construcción, cargas durante la vida útil y falla por punzonamiento. El Hyatt Regency permitió estudiar la importancia de las conexiones, la revisión de cambios y la trazabilidad de las decisiones de diseño y construcción. Ronan Point permitió analizar la pérdida localizada de elementos portantes, la insuficiencia de trayectorias alternativas y la evolución histórica del concepto de robustez (Griffiths et al., 1968; Pearson & Delatte, 2005; NIST, 2026).

El análisis también se relacionó con los reglamentos y criterios de diseño. ASCE/SEI 7-22 constituye una referencia para cargas y combinaciones de carga, mientras que la NSR-10 establece en Colombia requisitos de diseño y construcción sismo resistente. En particular, el Título C incluye requisitos de integridad estructural y contempla la evaluación de resistencia de estructuras existentes. Para estructuras prefabricadas, el Título C establece además disposiciones de amarres e integridad que resultan pertinentes al estudiar la lección de Ronan Point. La Ley 400 de 1997 define responsabilidades de diseño, construcción y supervisión, y la Ley 1796 de 2016 fortaleció la revisión independiente de diseños y la supervisión técnica de determinadas edificaciones.

A partir de estos conceptos y antecedentes, el análisis de los casos se orientó a identificar causas y condiciones contribuyentes, contrastarlas mediante criterios comunes y traducir los hallazgos a lecciones y recomendaciones aplicables al contexto colombiano. De esta manera, el marco teórico no se limitó a describir conceptos, sino que sirvió como base para interpretar los mecanismos de falla y construir la matriz comparativa.

1.7 Marco normativo

Tabla 1

Marco normativo

Norma / documento	Año	País / entidad	Tema principal	Aplicación en la investigación
Ley 400 de 1997	1997	Colombia	Establece disposiciones generales sobre diseño, construcción, revisión y supervisión técnica.	Se aplicó para identificar responsabilidades de verificación de que la construcción se ajuste a planos, diseños y especificaciones.
NSR-10 – Decreto 926 de 2010	2010	Colombia	Reglamento colombiano de construcción sismo resistente; incluye requisitos de concreto, cargas, integridad y evaluación de estructuras existentes.	Se aplicó en el análisis de integridad estructural, evaluación de estructuras existentes y requisitos de concreto prefabricado.
Ley 1796 de 2016	2016	Colombia	Fortalece mecanismos de revisión independiente de diseños y supervisión técnica.	Se utilizó para formular recomendaciones sobre revisión independiente y control documental de modificaciones.
ASCE/SEI 7-22	2022	Estados Unidos / ASCE	Establece criterios para cargas y combinaciones de carga.	Se utilizó como referencia internacional para interpretar la importancia de cargas, cambios de demanda y verificación de hipótesis de diseño.

Norma / documento	Año	País / entidad	Tema principal	Aplicación en la investigación
Marshall et al. (1982), NBS BSS 143	1982	Estados Unidos / NBS	Informe técnico de la investigación del colapso de las pasarelas del Hyatt Regency.	Se utilizó como fuente primaria para establecer el mecanismo de falla y la insuficiencia de la conexión.
Griffiths, Pugsley y Saunders (1968), Ronan Point Inquiry	1968	Reino Unido	Informe oficial sobre el colapso parcial de Ronan Point.	Se utilizó como fuente primaria para contrastar la explosión, pérdida de paneles y propagación del daño.

Capítulo 2 Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con alcance descriptivo y analítico, debido a que buscó comprender e interpretar las causas y mecanismos asociados a fallas estructurales en edificaciones reales mediante el estudio de casos representativos. No se emplearon métodos estadísticos ni mediciones cuantitativas propias; el análisis se fundamentó en información técnica, documental y académica.

La técnica de recolección de información correspondió al análisis documental, a partir de la revisión de informes técnicos oficiales, artículos científicos, literatura especializada, investigaciones de fallas y documentos normativos relacionados con Champlain Towers South, Hyatt Regency y Ronan Point. Como instrumento de sistematización se utilizaron matrices de revisión documental, diligenciadas para cada caso, en las que se registraron el sistema estructural, las condiciones de diseño y construcción, los elementos críticos, el mecanismo de falla, las causas, los factores contribuyentes, las medidas de control y las lecciones derivadas. El análisis se realizó mediante categorización de contenido y contraste entre casos.

La población de estudio estuvo constituida por edificaciones que han presentado fallas estructurales documentadas a nivel mundial. La muestra fue no probabilística e intencional y estuvo conformada por tres casos seleccionados por su relevancia histórica, disponibilidad de documentación técnica y diversidad de mecanismos de falla.

El procedimiento se desarrolló en cinco fases: (1) búsqueda y selección de fuentes; (2) caracterización de los tres casos; (3) identificación y análisis de mecanismos y causas de falla; (4) comparación mediante criterios comunes; y (5) formulación de lecciones y recomendaciones vinculadas con el marco colombiano. Las matrices diligenciadas se incorporaron como anexos para dejar evidencia del proceso de sistematización.

Tabla 2

Metodología

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Caracterizar las condiciones estructurales, técnicas y constructivas de las edificaciones seleccionadas	Revisión documental de los casos de estudio	Se recopiló y organizó información sobre características generales, sistema estructural, materiales, diseño y condiciones de construcción.	Investigadores

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Analizar los mecanismos de falla y las causas asociadas al colapso	Estudio técnico de cada caso	Se identificó el proceso de falla, los elementos afectados, los factores contribuyentes y las causas principales mediante informes y documentos técnicos.	Investigadores
Comparar los factores determinantes identificados en los casos de estudio	Construcción de matriz comparativa	Se contrastaron los tres casos mediante mecanismo iniciador, elemento crítico, rol del diseño, construcción y mantenimiento, trayectorias alternativas de carga y controles preventivos.	Investigadores
Determinar las principales lecciones aprendidas derivadas del análisis de los casos	Identificación de criterios preventivos	Se identificaron aprendizajes relacionados con diseño, revisión, construcción, inspección, mantenimiento, continuidad, integridad y robustez estructural.	Investigadores
Proponer recomendaciones aplicables a la práctica de la ingeniería estructural	Consolidación de resultados	Se formularon recomendaciones dirigidas al diseñador estructural, constructor, supervisor técnico independiente y responsable de la conservación de la edificación, articuladas con el marco colombiano.	Investigadores

Capítulo 3. Descripción de los Casos de Estudio

3.1. Casos de estudio

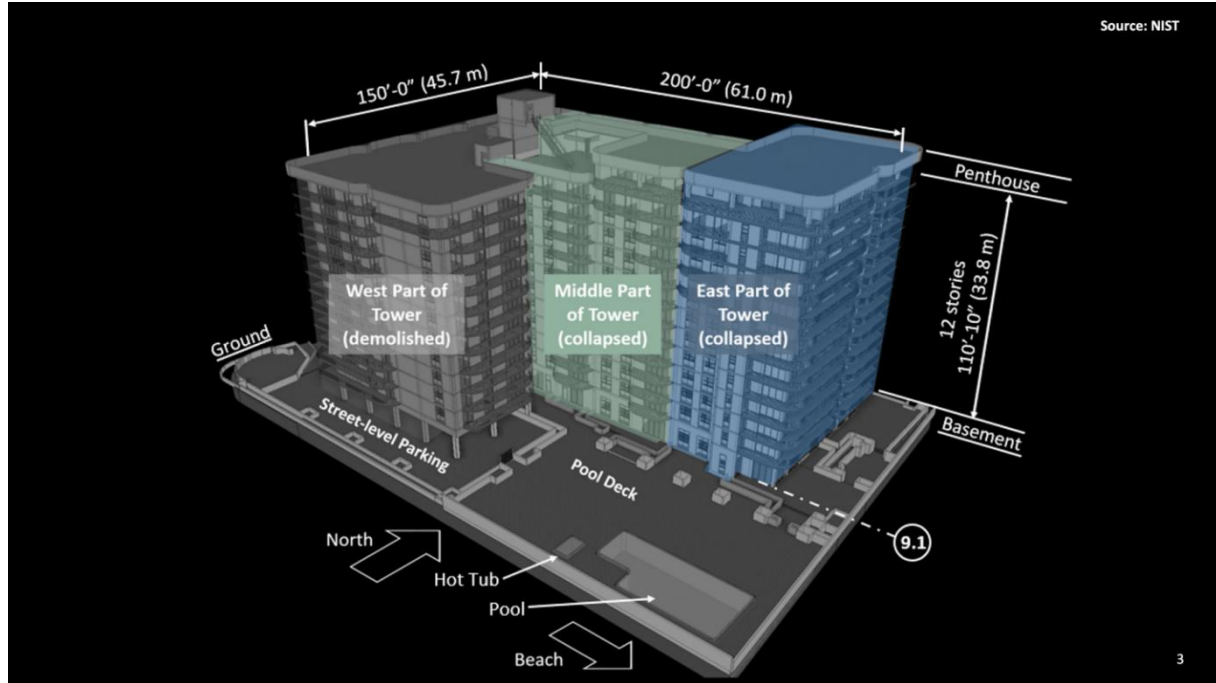
La presente investigación analiza tres casos reales de fallas estructurales que permiten estudiar diferentes mecanismos de pérdida de capacidad resistente y diferentes factores asociados al desempeño inadecuado de las edificaciones. Los casos seleccionados corresponden a Champlain Towers South, en Surfside, Florida; Hyatt Regency, en Kansas City, Missouri; y Ronan Point, en Londres, Reino Unido.

La selección de estos casos responde a la necesidad de analizar fenómenos estructurales diferentes pero relacionados con la seguridad y confiabilidad de las edificaciones. Champlain Towers South representa un caso asociado al deterioro estructural, deficiencias de diseño y construcción, modificaciones durante la vida útil y una falla por corte por punzonamiento que desencadenó un proceso de colapso progresivo. Hyatt Regency permite estudiar la importancia de las conexiones estructurales, la revisión de modificaciones durante la construcción y la comunicación entre los diferentes participantes del proyecto. Finalmente, Ronan Point constituye un caso representativo de colapso progresivo producido por una acción localizada y de la importancia de la redundancia, continuidad e integridad estructural.

3.1.1 Caso 1: Champlain Towers South

Figura 1

Esquema de Champlain Towers South



Nota. Adaptado de National Institute of Standards and Technology (NIST, 2026), *NIST releases technical findings on what caused the 2021 partial collapse of Champlain Towers South*.

Champlain Towers South era un edificio residencial ubicado en Surfside, Florida, Estados Unidos, construido en 1981. La edificación tenía 12 pisos más un nivel de penthouse y estaba localizada en un ambiente costero caracterizado por la exposición a condiciones marinas. El conjunto comprendía tres secciones: Oeste, Central y Este, configuración relevante para interpretar la secuencia de propagación del colapso (NIST, 2026). Como se observa en Figura 1, las características generales y la configuración del conjunto Champlain Towers South.

El edificio formaba parte de un conjunto de estructuras residenciales desarrolladas en la zona costera de Surfside. Su sistema estructural estaba conformado principalmente por elementos de concreto reforzado, incluyendo columnas, losas y elementos asociados al estacionamiento y al área de piscina. Una característica relevante para el análisis corresponde a la conexión entre la losa del área de piscina y las columnas que soportaban esta zona.

El 24 de junio de 2021 se produjo el colapso parcial de la edificación, ocasionando la muerte de 98 personas. El evento fue investigado por el National Institute of Standards and Technology

mediante el National Construction Safety Team. La investigación incluyó revisión documental, análisis de evidencia física, ensayos de materiales, estudios geotécnicos, entrevistas y modelaciones computacionales (NIST, 2026).

Uno de los aspectos relevantes correspondió al deterioro experimentado por la estructura durante sus décadas de servicio. La exposición al ambiente marino favoreció condiciones para la penetración de cloruros y la corrosión del acero de refuerzo, fenómeno que puede reducir la sección del acero, afectar la adherencia y producir fisuración y desprendimiento del concreto (Mehta & Monteiro, 2014; Qu et al., 2021).

La corrosión del refuerzo puede producir pérdida de sección del acero, disminución de la adherencia entre el concreto y el refuerzo y desprendimiento del recubrimiento. En estructuras ubicadas en ambientes costeros, estos mecanismos adquieren especial importancia debido a la presencia de cloruros y humedad.

Los hallazgos de NIST indicaron que el deterioro no constituyó una causa aislada. La investigación identificó una combinación de factores que redujeron progresivamente los márgenes de seguridad, entre ellos desviaciones respecto del diseño original, diferencias entre planos y construcción ejecutada, modificaciones durante la vida útil y degradación asociada a la corrosión (NIST, 2026).

De esta manera, el caso demuestra que la seguridad estructural durante la vida útil de una edificación no depende exclusivamente del cumplimiento de los criterios de diseño iniciales. Las modificaciones, condiciones ambientales, mantenimiento y deterioro acumulado pueden modificar las condiciones bajo las cuales fue concebido originalmente el sistema estructural.

3.1.2 Caso 2: *Hyatt Regency Walkways*

Figura 2

Configuración de las pasarelas del Hyatt Regency



Nota. Adaptado de Hoke (2007), *The Hyatt Regency walkway collapse*, American Society of Civil Engineers.

El segundo caso corresponde al colapso de las pasarelas suspendidas del Hyatt Regency Hotel, ubicado en Kansas City, Missouri, Estados Unidos. El edificio contaba con un gran atrio interior en el cual se encontraban pasarelas suspendidas correspondientes a diferentes niveles. Como se observa en Figura 2, la disposición de las pasarelas suspendidas del Hyatt Regency.

El 17 de julio de 1981, durante un evento social realizado en el atrio del hotel, colapsaron las pasarelas de los niveles segundo y cuarto. El informe del National Bureau of Standards registró inicialmente 113 personas fallecidas y 186 heridas; fuentes posteriores de la ASCE adoptan la cifra de 114 fallecidos. Para este trabajo se conservó la cifra de 114 fallecidos como registro consolidado, señalando que la investigación original del NBS reportó 113 (Marshall et al., 1982; Hoke, 2007).

La investigación técnica fue realizada por el National Bureau of Standards y se documentó en el informe NBS BSS 143. El estudio incluyó inspecciones en sitio, ensayos de laboratorio y análisis estructurales para determinar la causa más probable del colapso (Marshall et al., 1982).

Las pasarelas se encontraban suspendidas mediante elementos metálicos conectados a vigas tipo cajón. El sistema original contemplaba que las pasarelas fueran suspendidas mediante barras o tirantes que transmitían las cargas hacia la estructura superior del atrio.

La configuración estructural contemplaba tres pasarelas principales ubicadas en los niveles segundo, tercero y cuarto. La pasarela del tercer nivel presentaba una disposición diferente y estaba suspendida independientemente, mientras que las pasarelas del segundo y cuarto nivel tenían una relación estructural directa mediante los elementos de suspensión (Marshall et al., 1982).

Esta configuración hacía que las conexiones entre las vigas cajón y los tirantes constituyeran elementos críticos para la estabilidad del sistema.

Uno de los aspectos más importantes del caso fue la modificación realizada al sistema de conexión durante el proceso de fabricación y construcción.

El diseño original contemplaba una configuración en la cual los tirantes atravesaban las vigas cajón de la pasarela superior y continuaban hacia la pasarela inferior. Posteriormente se modificó el detalle mediante la utilización de un sistema de dos barras de suspensión. Esta modificación produjo un incremento significativo de la fuerza transmitida a determinadas conexiones de la pasarela superior.

La modificación del sistema de suspensión incrementó aproximadamente al doble la fuerza transmitida a determinadas conexiones de la pasarela superior. La modificación no estuvo acompañada por una verificación estructural suficiente de la nueva configuración, de modo que el cambio alteró la trayectoria de cargas sin demostrar que la conexión conservara capacidad adecuada (Marshall et al., 1982; Hoke, 2007).

El problema, por tanto, no estuvo únicamente relacionado con el elemento estructural utilizado, sino con la modificación de la trayectoria de cargas sin realizar una revisión estructural completa del nuevo sistema.

3.1.3 Caso 3: Ronan Point

Figura 3

Edificio Ronan Point



Nota. Adaptado de Griffiths, Pugsley y Saunders (1968), *Report of the Inquiry into the Collapse of Flats at Ronan Point, Canning Town*.

El tercer caso de estudio correspondió al edificio Ronan Point, ubicado en Canning Town, Londres, Reino Unido. Se trataba de una torre residencial de 22 pisos construida mediante un sistema de grandes paneles prefabricados de concreto que cumplían funciones estructurales como paredes y pisos. El sistema dependía de la continuidad y de las conexiones entre los paneles, aspecto que resultó determinante para la propagación del daño (Griffiths et al., 1968). Como se observa en Figura 3, la tipología de paneles prefabricados de Ronan Point.

El edificio fue construido mediante un sistema industrializado de paneles prefabricados, en el cual los elementos estructurales dependían significativamente de las conexiones y de la continuidad entre los diferentes componentes.

El 16 de mayo de 1968 se produjo una explosión de gas en un apartamento localizado en el piso 18. La explosión provocó el desprendimiento de paneles pertenecientes a una pared portante exterior. La pérdida de estos elementos generó una alteración abrupta de la trayectoria de cargas y

desencadenó el colapso progresivo de una parte significativa de la esquina sureste del edificio (Pearson & Delatte, 2005).

El evento produjo cuatro fallecidos y 17 personas heridas, según Pearson y Delatte (2005).

Ronan Point empleaba un sistema de grandes paneles prefabricados de concreto, en el cual los muros tenían una función estructural fundamental. A diferencia de sistemas estructurales aporticados convencionales, la edificación dependía en gran medida de la continuidad y estabilidad proporcionada por los paneles y sus conexiones.

Esta característica resulta especialmente relevante para el análisis del colapso, debido a que la pérdida de un panel de muro podía generar una modificación considerable de la trayectoria de cargas.

El informe oficial de la investigación mostró que la configuración y las conexiones del sistema tenían una capacidad limitada para proporcionar trayectorias alternativas de carga después de la pérdida de un panel. Esta condición fue determinante para comprender la propagación del daño y la posterior evolución de criterios de integridad y robustez estructural (Griffiths et al., 1968; Pearson & Delatte, 2005).

Capítulo 4. Análisis de Fallas Estructurales

4.1 Caso 1: Champlain Towers South

Figura 4

Colapso de Champlain Towers South



Nota. Adaptado de National Institute of Standards and Technology (NIST, 2026), *NIST releases technical findings on what caused the 2021 partial collapse of Champlain Towers South*.

De acuerdo con los resultados técnicos publicados por NIST en junio de 2026, la secuencia de falla comenzó varias semanas antes del colapso visible del 24 de junio. La investigación determinó que, a comienzos de junio de 2021, se produjo la falla de dos conexiones entre columnas del estacionamiento y la losa correspondiente al área de la piscina. Como se observa en Figura 4, la magnitud del colapso de Champlain Towers South.

El mecanismo inicial estuvo relacionado con una falla por corte por punzonamiento en las conexiones losa-columna. Este fenómeno ocurre cuando las fuerzas transmitidas entre una columna y una losa producen esfuerzos cortantes concentrados alrededor de la zona de apoyo, generando una superficie de falla que puede provocar el desprendimiento de la losa respecto de la columna. Como se observa en Figura 5, el mecanismo de punzonamiento en la conexión losa-columna.

Luego de las fallas iniciales, las cargas que anteriormente eran soportadas por esas conexiones fueron redistribuidas hacia conexiones adyacentes. Estas conexiones presentaban márgenes de resistencia insuficientes para soportar de manera segura las nuevas demandas. Como consecuencia, se produjo una progresión de daños durante las semanas posteriores (NIST, 2026).

Finalmente, el desprendimiento de la losa del área de piscina afectó otras conexiones que soportaban la estructura de la torre. Esta condición produjo una propagación de la falla hacia la sección central del edificio y posteriormente hacia la sección oriental.

Por tanto, el colapso puede interpretarse como una secuencia en la cual una falla local inicial generó redistribución de cargas, seguida por la falla de elementos adicionales y finalmente por un proceso de colapso progresivo.

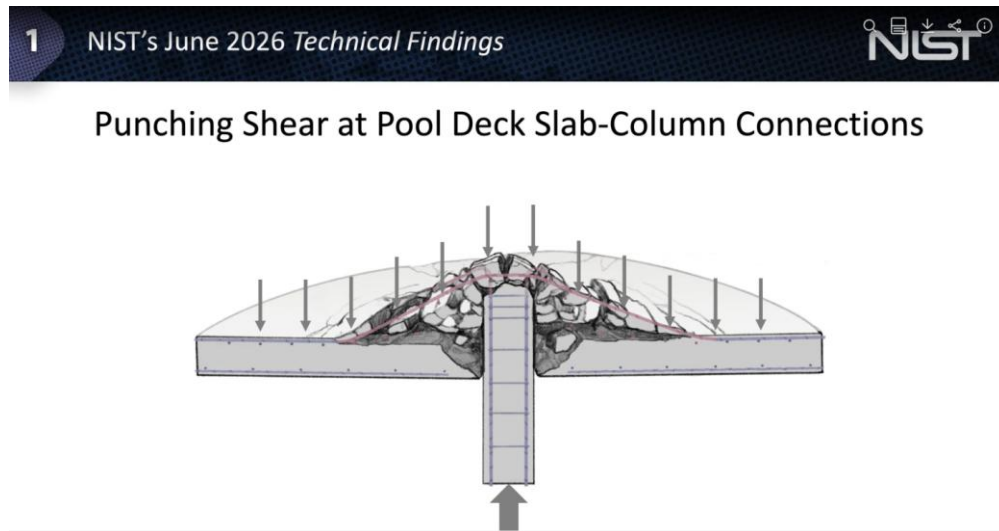
La investigación de NIST identificó dos factores principales relacionados con los bajos márgenes de seguridad existentes en la estructura. El primero correspondió a desviaciones importantes entre el diseño estructural original y los códigos y estándares aplicables en el momento de construcción, además de determinadas limitaciones de dichos códigos. El segundo correspondió a desviaciones entre la construcción ejecutada y los planos estructurales.

Adicionalmente, las modificaciones realizadas durante la vida útil del edificio introdujeron cargas adicionales o alteraron las condiciones existentes. A estos factores se sumó el deterioro producido por la corrosión del refuerzo y del concreto debido a la exposición ambiental.

Es importante señalar que NIST también descartó varias hipótesis como factores contribuyentes al colapso, entre ellas fallas de cimentación, asentamientos, hundimientos, efectos de huracanes y marejadas, vibraciones producidas por construcciones cercanas y determinadas sobrecargas accidentales asociadas a trabajos en la cubierta.

Figura 5

Mecanismo de falla por punzonamiento en la zona de piscina



Nota. Adaptado de National Institute of Standards and Technology (NIST, 2026), *NIST releases technical findings on what caused the 2021 partial collapse of Champlain Towers South*.

4.2 Caso 2: Hyatt Regency Walkways**Figura 6**

Colapso de las pasarelas del Hyatt Regency



Nota. Adaptado de Marshall et al. (1982), *Investigation of the Kansas City Hyatt Regency Walkways Collapse* (NBS BSS 143).

La investigación del National Bureau of Standards concluyó que la causa más probable del colapso correspondió a una capacidad insuficiente de las conexiones entre las vigas cajón y los tirantes de suspensión. La evidencia observada indicó que la falla se inició en una de las conexiones de la pasarela del cuarto nivel (Marshall et al., 1982). Como se observa en Figura 6, la configuración de las pasarelas que colapsaron en el Hyatt Regency.

La insuficiencia de la conexión se volvió crítica debido a que el cambio constructivo había incrementado las fuerzas que debían ser resistidas por determinados elementos de la conexión. Cuando la conexión perdió su capacidad resistente, la pasarela superior cayó sobre la pasarela inferior, generando una carga adicional sobre esta última y provocando su posterior colapso.

Este comportamiento demuestra la importancia de diferenciar entre la capacidad resistente de un elemento individual y la respuesta global del sistema. Una conexión aparentemente secundaria puede convertirse en un elemento crítico cuando forma parte de la trayectoria principal de transmisión de cargas.

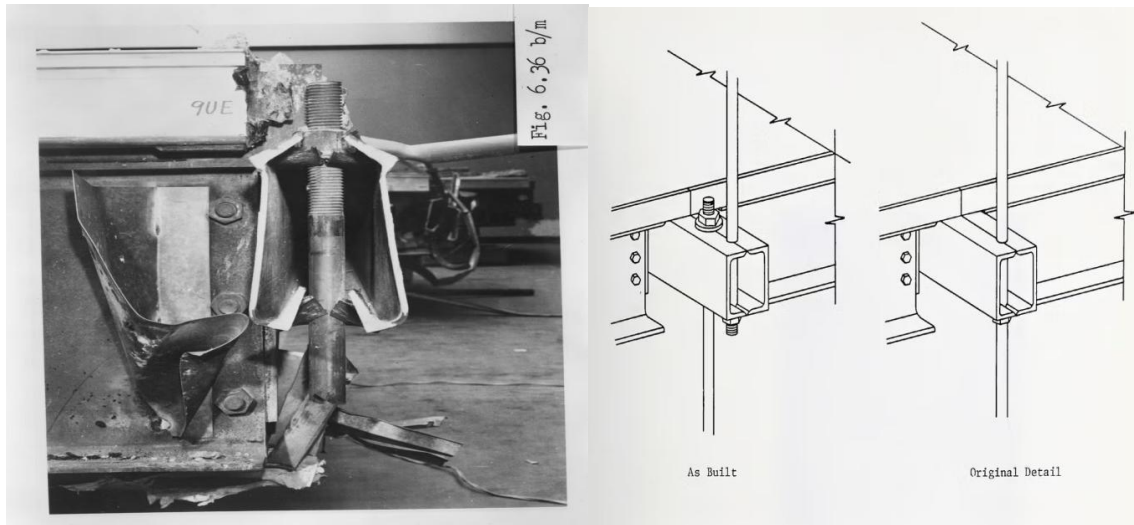
El caso Hyatt Regency también evidencia la importancia de los procesos administrativos y de comunicación dentro de un proyecto estructural.

La investigación posterior encontró deficiencias en la comunicación entre diseñadores, fabricantes y responsables de los planos de taller. La modificación de la conexión fue aprobada sin que existiera una verificación estructural formal suficientemente documentada. Además, la revisión de los planos no identificó la insuficiencia de la conexión crítica.

ASCE destaca que el caso permitió identificar una cadena de errores y omisiones que permitió que una conexión estructural crítica atravesara diferentes etapas del proyecto sin recibir el nivel de revisión necesario para garantizar su seguridad (Hoke, 2011). Como se observa en Figura 7, la conexión crítica entre la viga cajón y los tirantes.

Figura 7

Detalle de la conexión viga cajón–tirante de las pasarelas del Hyatt Regency



Nota. Adaptado de Marshall et al. (1982), *Investigation of the Kansas City Hyatt Regency Walkways Collapse* (NBS BSS 143).

4.3 Caso 3: Ronan Point

Figura 8

Propagación del colapso en Ronan Point.



Nota. Adaptado de Report of the inquiry into the collapse of flats at Ronan Point, Canning Town, por H. Griffiths, A. Pugsley y O. Saunders, 1968, Ministry of Housing and Local Government.

La falla comenzó con una explosión de gas ocurrida en un apartamento del piso 18. La presión generada por la explosión produjo la expulsión de elementos de la pared portante exterior. Como se observa en Figura 8, la propagación del daño en Ronan Point.

El evento constituye un ejemplo de acción localizada o carga accidental que inicialmente afecta un área relativamente pequeña de la estructura. El problema fundamental no fue únicamente la existencia de la explosión, sino la incapacidad del sistema estructural para limitar las consecuencias de la pérdida de un elemento resistente.

El informe de la investigación presentado ante el Parlamento británico describió que la pérdida de los paneles de la pared portante produjo posteriormente la falla de otros componentes estructurales, generando el colapso de la esquina sureste tanto por encima como por debajo del punto donde ocurrió la explosión. Este comportamiento fue identificado como un mecanismo de colapso progresivo.

El colapso progresivo se caracteriza por una propagación de la falla desde un daño inicial localizado hacia elementos estructurales adicionales, produciendo un daño considerablemente mayor que el correspondiente al evento inicial.

En Ronan Point, la pérdida de los paneles de muro modificó la trayectoria de las cargas verticales. Los elementos que permanecieron en el sistema tuvieron que asumir cargas para las cuales no estaban concebidos, generándose una cadena de fallas.

La ausencia de suficientes trayectorias alternativas de carga y la baja redundancia del sistema favorecieron la propagación del daño. Pearson y Delatte (2005) destacan que el edificio carecía de mecanismos adecuados para redistribuir las cargas cuando se producía la pérdida de un panel.

Este comportamiento representa uno de los principales antecedentes históricos para el desarrollo de los conceptos modernos de robustez estructural, continuidad, redundancia y resistencia al colapso progresivo.

La investigación posterior al evento permitió identificar deficiencias relacionadas con el diseño del sistema estructural y con los criterios normativos utilizados para edificios de paneles prefabricados.

La investigación concluyó que los códigos existentes no proporcionaban mecanismos suficientes para garantizar la integridad estructural de este tipo de edificios frente a eventos accidentales. Además, la configuración del sistema no proporcionaba suficientes caminos alternativos para la redistribución de cargas después de la pérdida de un elemento estructural.

Pearson y Delatte (2005) señalan que las investigaciones posteriores encontraron deficiencias tanto en el diseño como en la construcción, y que el caso tuvo una influencia significativa en la evolución de los requisitos de integridad y robustez estructural.

El informe de la investigación también recomendó la utilización de refuerzos y mecanismos de continuidad que permitieran proporcionar caminos alternativos de carga en caso de pérdida de un elemento estructural. Como se observa en Figura 9, el sistema constructivo de paneles prefabricados.

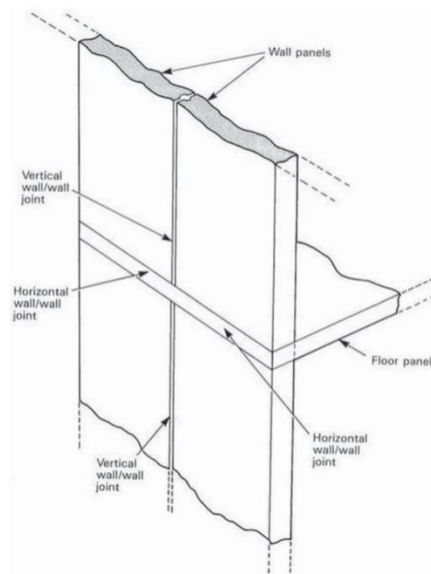
Uno de los principales aportes de Ronan Point a la ingeniería estructural fue demostrar que el cumplimiento de las condiciones convencionales de diseño no necesariamente garantiza que una estructura tenga un comportamiento adecuado frente a eventos accidentales.

El caso tuvo una influencia importante en el desarrollo posterior de criterios de prevención del colapso progresivo. Después del evento comenzaron a incorporarse disposiciones relacionadas con la integridad estructural, las fuerzas de amarre y las trayectorias alternativas de carga.

Pearson y Delatte (2005) señalan que las disposiciones modernas de robustez estructural adoptadas en diferentes países pueden relacionarse directamente con las lecciones obtenidas a partir del colapso de Ronan Point.

Figura 9

Sistema constructivo de paneles prefabricados de Ronan Point.



Nota. Adaptado de National Institute of Standards and Technology (NIST, 2026), *NIST releases technical findings on what caused the 2021 partial collapse of Champlain Towers South*.

Capítulo 5. Análisis Comparativo de los Casos

El análisis comparativo permitió integrar los resultados obtenidos en los tres estudios de caso mediante criterios comunes. La comparación no buscó establecer que los eventos tuvieran una única causa común, sino identificar patrones de vulnerabilidad y diferencias en los mecanismos que llevaron a la pérdida de capacidad estructural.

Tabla 3

Matriz comparativa.

Criterio	Champlain Towers South	Hyatt Regency	Ronan Point	Hallazgo transversal	Implicación para Colombia
Mecanismo iniciador	Punzonamiento en dos conexiones losa-columna del deck de piscina.	Falla de conexión viga cajón-tirante por capacidad insuficiente.	Explosión de gas y pérdida de paneles portantes.	Una acción localizada inició una secuencia de fallas en los tres casos.	El diseño debe considerar la respuesta del sistema ante daños locales y cambios de demanda.
Elemento crítico	Conexiones losa-columna y zona del deck de piscina.	Conexión de vigas cajón con tirantes de suspensión.	Paneles portantes y sus conexiones.	Las conexiones o elementos con función clave en la trayectoria de cargas fueron determinantes.	Debe verificarse el detalle y la continuidad de los elementos críticos conforme a la NSR-10.
Diseño / construcción / mantenimiento	Interacción de deficiencias de diseño, desviaciones de construcción, modificaciones y deterioro.	Modificación durante fabricación/construcción sin verificación suficiente.	Limitaciones del sistema y de sus trayectorias alternativas; deficiencias posteriores identificadas por la investigación.	La falla fue multicausal y se desarrolló durante el ciclo de vida o la ejecución.	Se requiere control de cambios, supervisión, documentación y evaluación de estructuras existentes.
Trayectorias alternativas de carga	La redistribución posterior a las fallas iniciales superó la capacidad de conexiones adyacentes.	La caída de la pasarela superior impuso cargas adicionales sobre la inferior.	La pérdida de paneles no pudo ser compensada adecuadamente por el sistema.	La capacidad de redistribuir cargas condicionó la propagación del daño.	La integridad y continuidad estructural deben formar parte de la revisión del diseño.

Criterio	Champlain Towers South	Hyatt Regency	Ronan Point	Hallazgo transversal	Implicación para Colombia
Control preventivo	Revisión de diseño, control constructivo, inspección, mantenimiento y evaluación de modificaciones	Revisión independiente del cambio, planos de taller y cálculos de conexión.	Integridad, amarres, continuidad y consideración de acciones accidentales.	La prevención requiere controles técnicos y administrativos coordinados.	Ley 400, Ley 1796 y NSR-10 aportan mecanismos aplicables a diseño, revisión, supervisión e integridad.

5.1 Interpretación de los resultados

La comparación mostró tres patrones. Primero, la vulnerabilidad no dependió únicamente de la resistencia nominal de los elementos, sino de la forma en que estos se encontraban conectados y de la trayectoria de las cargas. Segundo, las modificaciones realizadas durante la construcción o la vida útil podían reducir los márgenes de seguridad cuando no se acompañaban de una revisión estructural. Tercero, la capacidad de limitar la propagación de una falla local estuvo relacionada con la continuidad, la redundancia y la integridad del sistema. Estos resultados son coherentes con la literatura sobre robustez y colapso progresivo (Byfield et al., 2014; Russell et al., 2019; Gerasimidis & Ellingwood, 2023; Elkady et al., 2024).

Desde el contexto colombiano, los casos permiten identificar tres líneas de actuación. La primera corresponde al diseño y revisión: la Ley 1796 de 2016 exige revisión independiente para determinadas edificaciones y refuerza la lógica de verificación antes de la construcción. La segunda corresponde a la ejecución: la Ley 400 de 1997 establece la supervisión como verificación de que la construcción se ajuste a planos, diseños y especificaciones. La tercera corresponde a estructuras de concreto y prefabricadas: el Título C de la NSR-10 incluye requisitos de integridad estructural y contempla la evaluación de resistencia de estructuras existentes. En conjunto, estas disposiciones permiten traducir las lecciones de los casos internacionales a prácticas aplicables en Colombia.

Capítulo 6. Lecciones y Recomendaciones para el Cálculo y Diseño Estructural

6.1. Caso 1: Champlain Towers South

La principal lección del caso fue que la seguridad estructural debe conservarse durante todo el ciclo de vida. En Colombia, esta lección se relacionó con la necesidad de evaluar el estado de estructuras existentes, controlar modificaciones y prestar atención a los mecanismos de deterioro que puedan reducir la resistencia disponible. Para estructuras de concreto, el Título C de la NSR-10 contempla la evaluación de resistencia de estructuras existentes; por tanto, la inspección y evaluación no deben considerarse actividades ajenas a la seguridad estructural.

6.2. Caso 2: Hyatt Regency Walkways

La principal lección fue la necesidad de verificar cualquier modificación que altere la trayectoria de cargas. El diseñador debe revisar los cambios en conexiones y planos de taller, y las decisiones que modifiquen el sistema resistente deben quedar documentadas. En el contexto colombiano, esta lección se articuló con la supervisión técnica prevista en la Ley 400 de 1997 y con la revisión independiente de diseños en los casos establecidos por la Ley 1796 de 2016.

6.3. Caso 3: Ronan Point

La principal lección fue la importancia de la integridad, continuidad y existencia de trayectorias alternativas de carga. El Título C de la NSR-10 establece requisitos de integridad estructural y, para estructuras prefabricadas, exige amarres que conecten eficazmente los elementos. Estos criterios constituyeron un vínculo directo entre la lección histórica de Ronan Point y el marco colombiano.

6.4. Recomendaciones para la práctica profesional

Diseñador estructural. Verificar explícitamente las conexiones críticas, las hipótesis de carga y las modificaciones de trayectoria de cargas; considerar continuidad, integridad y mecanismos de redistribución; y documentar los cambios aprobados.

Constructor. Ejecutar la estructura conforme a planos y especificaciones, controlar cambios en obra, solicitar revisión del diseñador ante cualquier modificación y conservar registros que permitan trazabilidad de decisiones y materiales.

Supervisor técnico independiente. Comprobar la correspondencia entre construcción y diseño, documentar hallazgos y modificaciones, verificar los elementos y conexiones críticas y exigir la atención de las discrepancias antes de su ocultamiento o puesta en servicio, conforme al alcance aplicable.

Propietario, administración o copropiedad. Implementar programas de inspección y mantenimiento, conservar la documentación técnica, evaluar estructuralmente modificaciones y atender oportunamente signos de deterioro, especialmente en ambientes agresivos.

Enfoque normativo. Usar la Ley 400 de 1997, la Ley 1796 de 2016 y la NSR-10 como marco mínimo aplicable en Colombia, complementando el análisis con criterios internacionales de carga, robustez e integridad cuando sean pertinentes al proyecto.

Capítulo 7. Conclusiones

El primer objetivo específico se cumplió mediante la caracterización documental de Champlain Towers South, Hyatt Regency Walkways y Ronan Point. La revisión permitió reconocer diferencias en los sistemas estructurales, los elementos críticos, las condiciones de servicio y los contextos en los que se produjeron los eventos.

El segundo objetivo específico se cumplió al identificar los mecanismos y causas principales de cada falla. Champlain Towers South presentó un proceso iniciado por fallas por punzonamiento en conexiones losa-columna y posterior redistribución de cargas; Hyatt Regency presentó una falla crítica de conexión asociada con una modificación del sistema de suspensión; y Ronan Point presentó una pérdida localizada de elementos portantes ocasionada por una explosión, seguida de propagación del daño.

El tercer objetivo específico se cumplió mediante la matriz comparativa del Capítulo 5. La comparación mostró que, pese a sus diferencias, los tres eventos estuvieron relacionados con la pérdida de capacidad de elementos críticos, modificaciones o condiciones que afectaron las demandas o resistencias disponibles y una capacidad insuficiente para limitar la propagación de la falla. La principal diferencia estuvo en el factor iniciador: deterioro y condiciones acumuladas en Champlain Towers South, modificación de una conexión en Hyatt Regency y acción accidental localizada en Ronan Point.

El cuarto objetivo específico se cumplió al establecer lecciones relacionadas con la verificación de conexiones, control de modificaciones, correspondencia entre planos y construcción, inspección y mantenimiento, continuidad, integridad y trayectorias alternativas de carga. Estas lecciones evidenciaron que la seguridad estructural debe analizarse durante todo el ciclo de vida y no únicamente durante el diseño inicial.

El quinto objetivo específico se cumplió mediante recomendaciones diferenciadas para diseñador estructural, constructor, supervisor técnico independiente y propietario o administración. Las recomendaciones se vincularon con la Ley 400 de 1997, la Ley 1796 de 2016 y la NSR-10, particularmente en lo relacionado con supervisión, revisión, integridad estructural y evaluación de estructuras existentes.

En conjunto, el estudio permitió concluir que el análisis de fallas reales constituye una herramienta de aprendizaje para fortalecer la práctica de la ingeniería estructural. Los casos

estudiados demostraron que el cumplimiento de requisitos de diseño constituye una condición necesaria, pero la seguridad también depende de la adecuada ejecución, revisión de cambios, mantenimiento, inspección y capacidad del sistema para limitar la propagación de daños locales.

Referencias bibliográficas

- American Society of Civil Engineers. (2022). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-22)*. ASCE. https://behsazcivil.ir/wp-content/uploads/2021/12/ASCE_7_22_Minimum_Design_Loads_and_Associated_Criteria_for_Buildings_compressed_compressed333.pdf
- Byfield, M., Mudalige, W., Morison, C., & Stoddart, E. (2014). A review of progressive collapse research and regulations. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Structures and Buildings*, 167(8), 447–456. <https://doi.org/10.1680/stbu.12.00023>
- Congreso de la República de Colombia. (13, julio, 2016). 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*. Diario Oficial No. 49.933. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78234>
- Congreso de la República de Colombia. (19, agosto, 1997). Ley 400 de 1997: *Por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes*. Diario Oficial No. 43.113. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=336>
- Elkady, N., Augustus Nelson, L., Weekes, L., Makoond, N. C., & Buitrago, M. (2024). Progressive collapse: Past, present, future and beyond. *Structures*, 62, 106131. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106131>
- Feld, J., & Carper, K. L. (1997). *Construction Failure* (2nd ed.). Wiley.
- Gerasimidis, S., & Ellingwood, B. (2023). Twenty years of advances in disproportionate collapse research and best practices since 9/11/2001. *Journal of Structural Engineering*, 149(2). <https://doi.org/10.1061/JSENDH.STENG-12056>
- Great Britain, Ministry of Housing and Local Government, Griffiths, W. H., Pugsley, A., & Saunders, O. A. (1968). *Report of the Inquiry into the Collapse of Flats at Ronan Point, Canning Town*. H.M. Stationery Office.
- Hoke, T. (2007). The Hyatt Regency walkway collapse. *Civil Engineering Source*. American Society of Civil Engineers. <https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/article/2007/01/the-hyatt-regency-walkway-collapse/>

- Hoke, T. (2011). Ensuring the safety, health, and welfare of the public. *Civil Engineering*, 81(7), 42-43. <https://doi.org/10.1061/ciegag.0000771>
- Marshall, R. D., Pfrang, E. O., Leyendecker, E. V., Woodward, K. A., Reed, R. P., Kasen, M. B., & Shives, T. R. (1982). *Investigation of the Kansas City Hyatt Regency Walkways Collapse* (NBS Building Science Series 143). National Bureau of Standards. <https://doi.org/10.6028/NBS.BSS.143>
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- National Institute of Standards and Technology. (2026, June 22). *NIST Releases Technical Findings on What Caused the 2021 Partial Collapse of Champlain Towers South*. U.S. Department of Commerce. <https://www.nist.gov/news-events/news/2026/06/nist-releases-technical-findings-what-caused-2021-partial-collapse>
- Pearson, C., & Delatte, N. (2005). Ronan Point apartment tower collapse and its effect on building codes. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 19(2), 172-177. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2005\)19:2\(172\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2005)19:2(172))
- Presidencia de la República de Colombia. (19, marzo, 2010). *Decreto 926 de 2010. Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismorresistentes NSR-10*. Diario Oficial No. 47.663. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39255>
- Qu, F., Li, W., Dong, B., Tam, V. W. Y., & Yu, Z. (2021). Durability performance deterioration of concrete under combined sulfate-chloride attack. *Cement and Concrete Research*, 147, 106530. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106530>
- Russell, J. M., Sagaseta, J., Cormie, D., & Jones, A. E. K. (2019). Historical review of prescriptive design rules for robustness after the collapse of Ronan Point. *Structures*, 20, 365-373. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.04.011>

Anexos

Anexo A. Matriz de Revisión Documental – Champlain Towers South

Anexo B Matriz de Revisión Documental – Hyatt Regency Walkways

Anexo C Matriz de Revisión Documental – Ronan Point