



**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE
LOS EDIFICIOS SIN SEPARACIÓN SÍSMICA
2024**

**Por: Juan Pablo Cadavid Martínez
Diego Alexander Sotelo**

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Asesora

Manuela Ochoa Especialista (Esp) en Análisis y Diseño de Estructuras

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras
Medellín, Antioquia, Colombia
2025

Cita	(Cadavid Martínez & Sotelo Pineda, 2024)
Referencia	Cadavid Martínez, J. P., & Sotelo Pineda, D. A. (2024). Revisión Bibliográfica Sobre El Comportamiento Estructural De Los Edificios Sin Separación Sísmica, 2024 [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte XI.



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS SIN SEPARACIÓN SÍSMICA.....	1
Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Justificación.....	8
Objetivos	9
Marco teórico	10
Capítulo 1: Aspectos de la Configuración Estructural que Afectan el Comportamiento Sísmico.....	10
1.1. Separación Sísmica	10
1.2. Características Estructurales Individuales.....	10
1.3. Condiciones del Suelo.....	10
Capítulo 2: Análisis de la Falla por Golpeteo Entre Edificios.....	11
2.1. Mecanismos de Falla.....	11
2.2. Factores que Influyen en la Falla	11
2.2.1 Interacción piso – columna	11
2.2.2 Edificios adyacentes con masas distintas	12
2.2.3 Edificios con alturas totales significativamente distintas.....	13
2.2.4 Edificios externos de una fila	13
2.2.5 Edificios sujetos a acciones de torsión.....	14
2.2.6 Edificios construidos con materiales frágiles o malas prácticas constructivas	15
Capítulo 3: Estrategias de Mitigación del Golpeteo	16
3.1. Dispositivos de Absorción de Energía.....	16

3.2. Amortiguadores.....	16
3.3. Separaciones Dinámicas	16
3.4. Simulación Numérica y Análisis Experimental	17
3.5. Consideraciones en el Diseño Urbano	17
Capítulo 4: Casos de Estudio y Aplicaciones Prácticas.....	17
4.1. Caso de Estudio: Terremoto de Christchurch en 2011	17
4.2. Caso de Estudio: Edificios de Hormigón.....	18
4.3. Aplicaciones Prácticas	18
Referencias	20

Resumen

Este trabajo presenta una revisión bibliográfica integral sobre el comportamiento estructural de los edificios sin separación sísmica. El estudio se enfoca en los efectos del golpeteo sísmico entre edificios adyacentes que ocurre debido a la falta de espacios de separación adecuados. Se han analizado diversos estudios de investigación para entender las interacciones dinámicas entre los edificios durante eventos sísmicos, considerando factores como la geometría del edificio, las propiedades estructurales, la interacción suelo-estructura y la influencia del comportamiento no lineal. La revisión discute diferentes metodologías, modelos numéricos y enfoques experimentales utilizados para estudiar este fenómeno, destacando la importancia de considerar el golpeteo sísmico en los códigos de diseño estructural. El objetivo es proporcionar una comprensión clara de los riesgos asociados con la insuficiente separación sísmica y sugerir mejoras en las prácticas de diseño para mitigar los posibles daños durante los terremotos. Además, se exploran los avances recientes en materiales innovadores y dispositivos de disipación de energía como posibles soluciones para aumentar la resiliencia estructural.

Palabras clave: comportamiento estructural, separación sísmica, golpeteo sísmico, edificios adyacentes, interacciones dinámicas, comportamiento no lineal, códigos de diseño estructural, dispositivos de disipación de energía, materiales innovadores, resiliencia sísmica.

Abstract

This monograph presents a comprehensive bibliographic review of the structural behavior of buildings without seismic separation. The study emphasizes the effects of seismic pounding between adjacent buildings, which occurs due to the lack of adequate separation gaps. Various research studies have been analyzed to understand the dynamic interactions between buildings during seismic events, considering factors such as building geometry, structural properties, soil-structure interaction, and the influence of non-linear behavior. The review discusses different methodologies, numerical models, and experimental approaches used to study this phenomenon, highlighting the importance of considering seismic pounding in structural design codes. The objective is to provide a clear understanding of the risks associated with insufficient seismic separation and to suggest improvements in design practices to mitigate potential damages during earthquakes. Additionally, recent advances in innovative materials and energy dissipation devices are explored as potential solutions to enhance structural resilience.

Keywords: structural behavior, seismic separation, seismic pounding, adjacent buildings, dynamic interactions, non-linear behavior, structural design codes, energy dissipation devices, innovative materials, earthquake resilience

Introducción

El comportamiento estructural de edificios sin separación sísmica es un tema crucial en la ingeniería sísmica y la resiliencia urbana. La falla por golpeteo entre edificios adyacentes durante eventos sísmicos puede causar daños significativos y pérdidas humanas (Jankowski, 2005). En este contexto, es fundamental comprender y mitigar este fenómeno para garantizar la seguridad y la integridad de las estructuras.

La separación sísmica es un factor clave en la prevención de la falla por golpeteo. Sin embargo, la implementación de esta separación puede ser difícil debido al alto costo del terreno necesario (Anagnostopoulos, 1996). Los códigos y normas de diseño sísmico establecen requisitos mínimos de separación sísmica, que varían según la región y el tipo de estructura. Por ejemplo, el estándar ASCE/SEI 7-16 establece que la separación sísmica mínima debe ser de al menos 1.5 veces la altura del edificio más alto (ASCE, 2016).

Además de la separación sísmica, las características estructurales individuales de cada edificio también influyen en su comportamiento sísmico. La altura, la rigidez y la masa de los edificios son factores clave que determinan su respuesta a los movimientos sísmicos. Los edificios más altos y rígidos son más propensos a sufrir daños por golpeteo, ya que tienen una mayor energía cinética durante los movimientos sísmicos (Mahmoud et al., 2019). Asimismo, las condiciones del suelo también influyen en el comportamiento sísmico de los edificios, ya que suelos débiles o inestables pueden amplificar los movimientos sísmicos (Anagnostopoulos, 1996).

En este contexto, es fundamental analizar el estado del arte sobre el comportamiento estructural de edificios sin separación sísmica, identificando las estrategias de mitigación más efectivas y rentables. Esta monografía tiene como objetivo proporcionar una visión integral y actualizada de los avances en la investigación y la práctica profesional en este campo, incluyendo casos de estudio y aplicaciones prácticas que demuestren la efectividad de estas estrategias en diferentes contextos.

Justificación

La monografía tiene como objetivo principal analizar el comportamiento estructural de edificios sin separación sísmica, un tema crucial en la ingeniería sísmica y la resiliencia urbana. A lo largo de los años, la investigación en este campo ha avanzado significativamente, destacando la importancia de comprender y mitigar el fenómeno del golpeteo de edificios durante eventos sísmicos.

La monografía revisa y analiza estudios pioneros y recientes, como los trabajos de Anagnostopoulos (1996), Jankowski (2005), y Mahmoud et al. (2019), que proporcionan una base teórica y metodológica para el diseño de soluciones efectivas. Estos estudios demuestran que características estructurales individuales, como diferencias en alturas y rigidez, influyen críticamente en la severidad del golpeteo. Además, la implementación de dispositivos de absorción de energía y amortiguadores puede reducir significativamente los daños estructurales.

También se exploran las guías y normas de diseño sísmico actuales, como el estándar ASCE/SEI 7-16, que han comenzado a incorporar estos hallazgos y proponen requisitos mínimos de separación y recomendaciones para el uso de dispositivos de mitigación de impactos. Sin embargo, se analizan los desafíos prácticos en la implementación de estas soluciones, como las restricciones espaciales en áreas urbanas densas y los costos asociados.

Por último, se identifican oportunidades para el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales que puedan ofrecer soluciones más eficientes y rentables para la mitigación del golpeteo, incluyendo materiales avanzados, sistemas de amortiguación innovadores y técnicas de diseño que mejoren la resiliencia sísmica de las edificaciones.

Objetivos

Objetivo general

Analizar y unificar la información disponible sobre el comportamiento estructural de edificios sin separación sísmica, identificando patrones, riesgos y soluciones potenciales para mejorar la resiliencia de las estructuras en zonas sísmicas.

Objetivo específico

Revisar y analizar los estudios pioneros y recientes en la literatura científica sobre el comportamiento estructural de edificios sin separación sísmica.

Marco teórico

Capítulo 1: Aspectos de la Configuración Estructural que Afectan el Comportamiento Sísmico

La configuración estructural de los edificios es un factor clave en su comportamiento sísmico. La separación suficiente entre edificios adyacentes es fundamental para evitar el golpeteo durante eventos sísmicos. Sin embargo, la implementación de esta separación puede ser difícil debido al alto costo del terreno necesario para lograrla (Anagnostopoulos, 1996; Jankowski, 2005).

1.1. Separación Sísmica

La separación sísmica es la distancia mínima requerida entre edificios adyacentes para evitar el golpeteo durante eventos sísmicos. Esta separación depende de varios factores, incluyendo la altura y la rigidez de los edificios, así como las condiciones del suelo. Por ejemplo, el estándar ASCE/SEI 7-16 establece que la separación sísmica mínima debe ser de al menos 1.5 veces la altura del edificio más alto (ASCE, 2016).

1.2. Características Estructurales Individuales

Las características estructurales individuales de cada edificio, como la altura, la rigidez y la masa, son factores clave que determinan su respuesta a los movimientos sísmicos. Los edificios más altos y rígidos son más propensos a sufrir daños por golpeteo, ya que tienen una mayor energía cinética durante los movimientos sísmicos (Gidaris et al., 2018). Además, la localización de los elementos estructurales es crucial, ya que la coincidencia de losas puede empeorar el problema del golpeteo (Jankowski, 2005).

1.3. Condiciones del Suelo

Las condiciones del suelo influyen significativamente en el comportamiento sísmico de los edificios. Los suelos débiles o inestables pueden amplificar los movimientos sísmicos, aumentando el riesgo de daños por golpeteo (Yun, 2017). Por lo tanto, es crucial considerar las condiciones del suelo al diseñar soluciones para la mitigación del golpeteo (Mahmoud et al., 2019).

Capítulo 2: Análisis de la Falla por Golpeteo Entre Edificios

La falla por golpeteo entre edificios es un fenómeno complejo que depende de varios factores, incluyendo las características estructurales individuales, la separación entre edificios y las condiciones del suelo. Los estudios han demostrado que la implementación de dispositivos de absorción de energía y amortiguadores puede reducir significativamente los daños estructurales durante eventos sísmicos (Marini et al., 2017).

2.1. Mecanismos de Falla

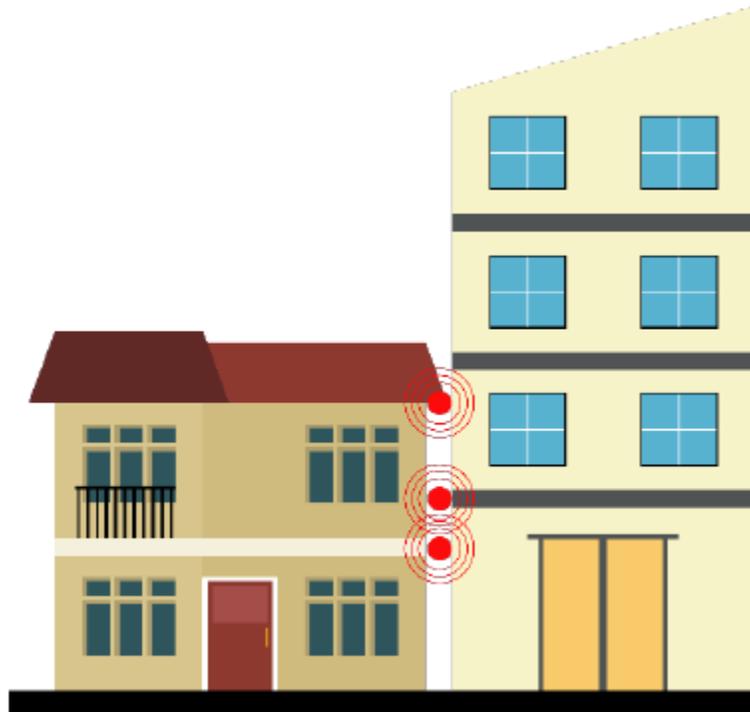
Los mecanismos de falla por golpeteo incluyen la deformación plástica, la rotura de elementos estructurales y la pérdida de estabilidad. La deformación plástica ocurre cuando los edificios se deforman más allá de su límite elástico, lo que puede llevar a la rotura de elementos estructurales (Anagnostopoulos, 1996).

2.2. Factores que Influyen en la Falla

Los factores que influyen en la falla por golpeteo incluyen la separación entre edificios, las características estructurales individuales y las condiciones del suelo. La separación insuficiente entre edificios puede llevar a la colisión durante eventos sísmicos, ocasionando daños significativos (Mahmoud et al., 2019).

2.2.1 Interacción piso – columna

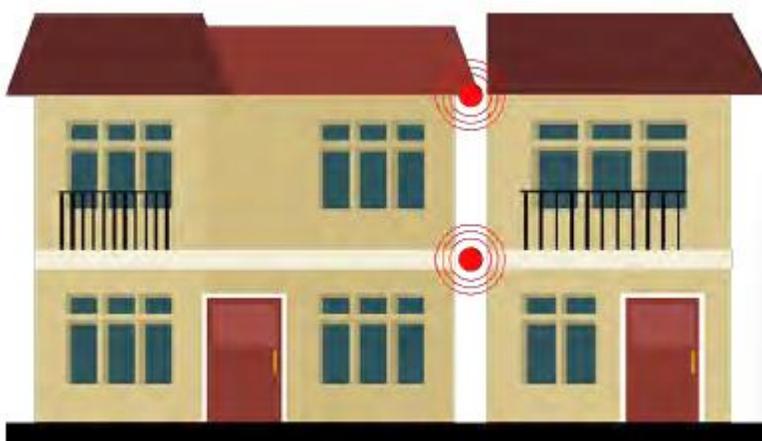
La interacción entre columnas y el piso adyacente puede resultar en fuerzas cortantes elevadas, lo que provoca daños o colapsos en las columnas. Estas estructuras también pueden exceder los requisitos de ductilidad, aumentando el riesgo de falla durante movimientos sísmicos, lo que compromete la seguridad general del edificio.



(Navarro, 2024)

2.2.2 Edificios adyacentes con masas distintas

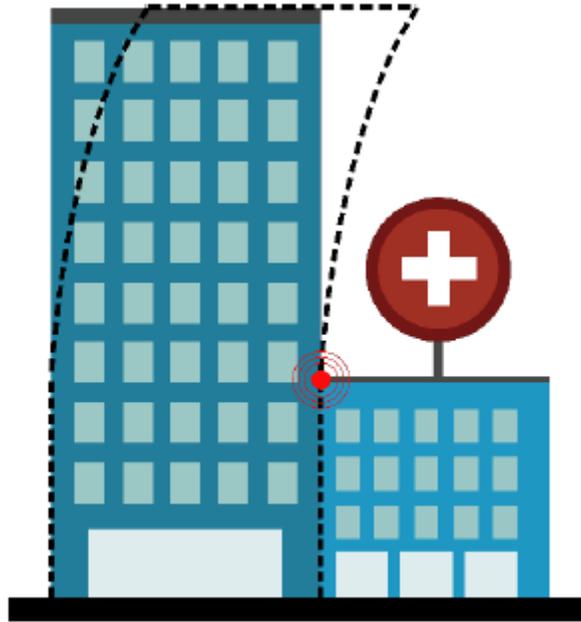
Cuando edificios con diferentes masas interactúan, la estructura más pesada puede incrementar significativamente la velocidad de la más ligera durante un sismo. Esta diferencia de comportamiento puede llevar al colapso de la estructura más liviana, destacando la importancia de considerar las masas en el diseño estructural.



(Navarro, 2024)

2.2.3 Edificios con alturas totales significativamente distintas

La colisión entre un edificio alto y uno bajo altera el modo de desplazamiento del primero. Durante el impacto, la planta inferior del edificio más alto se restringe, mientras que el resto se "azota", generando demandas de cortante y ductilidad elevadas, especialmente en la planta superior del edificio más corto.



(Navarro, 2024)

2.2.4 Edificios externos de una fila

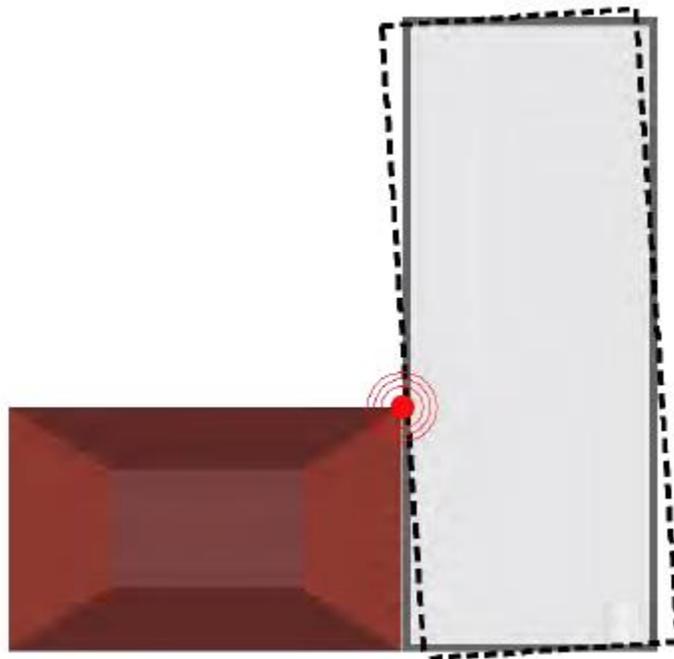
En calles con edificios similares y poca separación, aquellos al final de la fila sufren más daño debido a la transferencia de energía de los edificios internos. Aunque los edificios interiores también experimentan daños, estos son menos severos en comparación con los que están expuestos en la periferia.



(Navarro, 2024)

2.2.5 Edificios sujetos a acciones de torsión

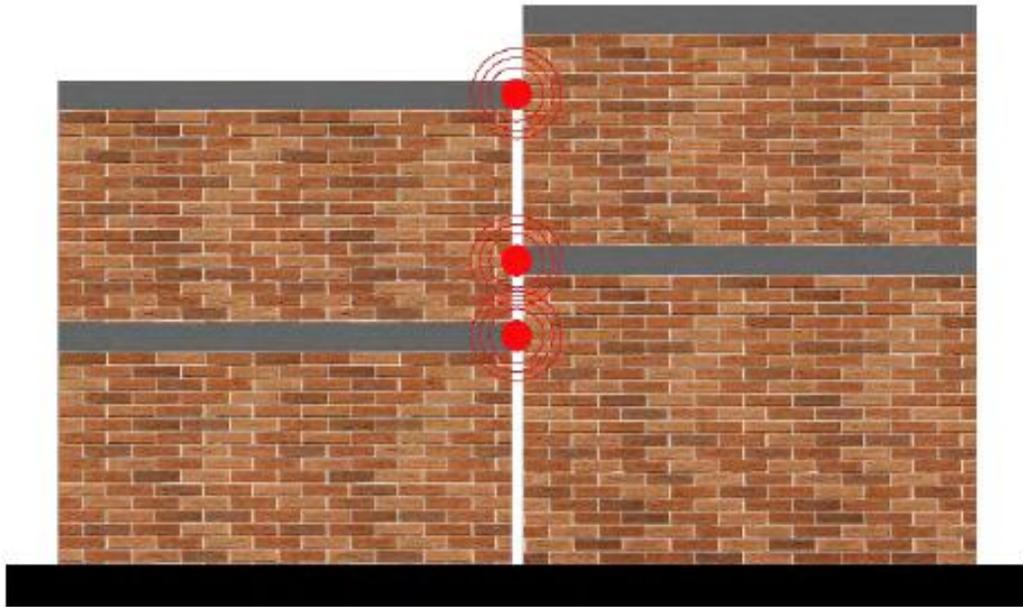
Configuraciones estructurales específicas pueden excitar modos de torsión en edificios adyacentes, resultando en demandas de carga superiores a las esperadas. Esta situación se vuelve especialmente crítica si ocurre el golpeo piso-columna, aumentando el riesgo de daños significativos y comprometiendo la integridad estructural.



(Navarro, 2024)

2.2.6 Edificios construidos con materiales frágiles o malas prácticas constructivas

Las estructuras de albañilería no reforzada son particularmente vulnerables a cargas laterales. Durante un impacto, estas pueden experimentar fallas explosivas, poniendo en riesgo la estabilidad del edificio. La calidad de los materiales y las prácticas constructivas son fundamentales para garantizar la resistencia sísmica adecuada.



(Navarro, 2024)

Capítulo 3: Estrategias de Mitigación del Golpeteo

Existen varias estrategias de mitigación del golpeteo, incluyendo la implementación de dispositivos de absorción de energía, amortiguadores y separaciones dinámicas. Estas estrategias pueden ser diseñadas para reducir la energía de impacto y mejorar la resiliencia sísmica de las estructuras (Yun, 2017).

3.1. Dispositivos de Absorción de Energía

Los dispositivos de absorción de energía son diseñados para reducir la energía de impacto durante eventos sísmicos. Estos dispositivos pueden ser instalados entre edificios adyacentes para reducir la fuerza de impacto y minimizar los daños estructurales (Marini et al., 2017). Un ejemplo común son los amortiguadores viscosos, que ayudan a disipar la energía cinética generada por el movimiento sísmico.

3.2. Amortiguadores

Los amortiguadores están diseñados para reducir la amplitud de los movimientos sísmicos y minimizar los daños estructurales. Estos dispositivos pueden ser instalados en los edificios para reducir la energía de impacto y mejorar la resiliencia sísmica (Gidaris et al., 2018). Existen diversos tipos de amortiguadores, como los de masa sintonizada y los sistemas de aislamiento de base, que se han utilizado con éxito en muchas edificaciones alrededor del mundo.

3.3. Separaciones Dinámicas

Las separaciones dinámicas están diseñadas para adaptarse a diferentes niveles de carga sísmica. Estas separaciones pueden ser ajustables o modulares, proporcionando flexibilidad adicional para la construcción en entornos urbanos densos. Una separación dinámica adecuada puede ayudar a reducir la fuerza de impacto durante eventos sísmicos, minimizando los daños estructurales (Jankowski, 2005).

3.4. Simulación Numérica y Análisis Experimental

La simulación numérica y el análisis experimental son herramientas fundamentales para evaluar el comportamiento sísmico de los edificios e identificar oportunidades para la mejora. Estas herramientas permiten a los diseñadores evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación del golpeteo y diseñar soluciones personalizadas para cada estructura (Yun, 2017). Métodos como el análisis dinámico no lineal ayudan a comprender cómo las estructuras responderán a diferentes escenarios sísmicos.

3.5. Consideraciones en el Diseño Urbano

La planificación urbana también desempeña un papel importante en la mitigación del golpeteo. Estrategias de zonificación que consideran la separación adecuada entre edificaciones y el uso de áreas abiertas pueden reducir significativamente el riesgo. El diseño urbano resiliente debe incorporar estas consideraciones para mejorar la seguridad en zonas con alta actividad sísmica.

En resumen, existen varias estrategias de mitigación del golpeteo que pueden ser diseñadas para reducir la energía de impacto y mejorar la resiliencia sísmica de las estructuras. Los diseñadores deben considerar estas estrategias al diseñar soluciones para la mitigación del golpeteo.

Capítulo 4: Casos de Estudio y Aplicaciones Prácticas

Los casos de estudio y las aplicaciones prácticas son fundamentales para comprender la efectividad de las estrategias de mitigación del golpeteo. Estos casos de estudio permiten a los diseñadores evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación del golpeteo en diferentes contextos e identificar oportunidades para la mejora.

4.1. Caso de Estudio: Terremoto de Christchurch en 2011

El terremoto de Christchurch en 2011 fue un evento sísmico devastador que causó daños significativos en la ciudad. El estudio de la falla por golpeteo en este terremoto demostró la importancia de considerar las condiciones del suelo y las propiedades dinámicas de las estructuras en el diseño de soluciones efectivas (Marini et al., 2017). Los análisis post-terremoto sugirieron que el uso de amortiguadores de masa sintonizada podría haber reducido el daño a las estructuras adyacentes.

4.2. Caso de Estudio: Edificios de Hormigón

Los edificios de hormigón son comunes en áreas urbanas densas y pueden ser propensos a sufrir daños por golpeteo durante eventos sísmicos. El estudio de la falla por golpeteo en edificios de hormigón ha demostrado la importancia de considerar las características estructurales individuales y las condiciones del suelo en el diseño de soluciones efectivas (Gidaris et al., 2018). La implementación de dispositivos de aislamiento de base en edificios de hormigón ha mostrado ser una estrategia eficaz para mitigar el impacto del golpeteo.

4.3. Aplicaciones Prácticas

Las aplicaciones prácticas de las estrategias de mitigación del golpeteo incluyen la implementación de dispositivos de absorción de energía, amortiguadores y separaciones dinámicas. Estas aplicaciones prácticas permiten a los diseñadores evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación del golpeteo en diferentes contextos e identificar oportunidades para la mejora (Yun, 2017). Las herramientas de simulación numérica han permitido optimizar el diseño de estos dispositivos, adaptándolos a las características específicas de cada proyecto.

En resumen, los casos de estudio y las aplicaciones prácticas son fundamentales para comprender la efectividad de las estrategias de mitigación del golpeteo. Estos casos de estudio permiten a los diseñadores evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación del golpeteo en diferentes contextos e identificar oportunidades para la mejora.

Conclusiones

- El comportamiento estructural de edificios sin separación sísmica es un aspecto crucial del diseño sísmico y la resiliencia urbana. A través de esta revisión bibliográfica, se ha demostrado que la falla por golpeteo es un riesgo significativo que debe abordarse mediante una combinación de estrategias de mitigación, incluyendo la separación sísmica, la implementación de dispositivos de absorción de energía y amortiguadores, y el uso de técnicas de aislamiento de base.
- Los casos de estudio analizados proporcionan ejemplos claros de cómo los diseñadores han abordado el desafío del golpeteo en diferentes contextos, y ofrecen lecciones valiosas para futuros proyectos. En última instancia, la consideración del golpeteo en el diseño de edificios y la implementación de soluciones adecuadas son esenciales para garantizar la seguridad y la resiliencia de las estructuras en zonas sísmicas.
- Es esencial continuar investigando y desarrollando nuevas tecnologías y estrategias de mitigación para mejorar la resistencia sísmica de las edificaciones. En particular, se recomienda la adopción de prácticas de diseño urbano que consideren de manera integral las características sísmicas del terreno, las propiedades estructurales de las edificaciones y las innovaciones tecnológicas disponibles.

Referencias

- American Society of Civil Engineers. (2016). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-16). American Society of Civil Engineers.
- Anagnostopoulos, S. A. (1996). Aseismic design criteria and the pounding between adjacent buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25(10), 1119-1133. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199610\)25:10%3C1119::AID-EQE596%3E3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199610)25:10%3C1119::AID-EQE596%3E3.0.CO;2-T)
- Gidaris, I., & Koumousis, V. K. (2018). Pounding effects between buildings during earthquakes. *Engineering Structures*, 161, 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.01.051>
- Jankowski, R. (2005). Earthquake induced pounding between adjacent buildings. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(5), 2010-2023. <https://doi.org/10.1785/0120050035>
- Mahmoud, H., El-Dakhakhni, W. W., & El-Dakhakhni, N. S. (2019). Pounding between buildings: Factors influencing the seismic behavior. *Engineering Structures*, 186, 128-144. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.034>
- Marini, A., Bursi, O. S., & Lai, C. G. (2017). A simplified method for the assessment of building pounding during earthquakes. *Engineering Structures*, 133, 181-194. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.12.017>
- Yun, H. D. (2017). Analytical study on building pounding and its countermeasures for seismic design. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 16(4), 857-868. <https://doi.org/10.1007/s11803-017-0404-8>
- Cole GL, Dhakal RP, Turner FM. (2012). Building pounding damage observed in the 2011 Christchurch earthquake. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*.
- Navarro Louggi,(2024) Golpeteo sísmico estructural: fundamentos y simulación de sus efectos utilizando SAP2000 y Simulink



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3