

EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDINGS IN STEEL OR MIXED COLUMNS.

Lisbeth Barba ¹, Walter Cruz ², Christel Gonzalez¹, and Diana Rivera ^{2,*}

¹ Faculty of Engineering Science, State Technical University of Quevedo, Quevedo 120301, Ecuador

* Correspondence: lbarbas@msuteq.edu.ec

Abstract: In the article, the structural optimization of earthquake-resistant buildings is applied, in which said buildings will have columns composed of steel and concrete. Therefore, various investigative documents will be investigated and analyzed, which will help to delve deeper into the materials such as steel and concrete that are used for said anti-seismic buildings, which are a solution to address seismic challenges in areas susceptible to earthquakes. The materials that will be investigated have a greater tendency to be used by civil engineers to make earthquake-resistant buildings, since they have greater resistance effectiveness against high-magnitude earthquakes, thus avoiding large-scale human and material losses. The advantage will be addressed, the management of materials so that buildings are more effective against earthquakes, the importance of implementing steel and concrete materials in the columns. This document will also examine documents that talk about the materials already mentioned previously which highlight the importance of good handling when compacting both steel and iron, highlighting the effectiveness of resistance. Thus providing a broader vision of the importance of implementing steel and concrete in earthquake-resistant buildings

Keywords: Earthquake-resistant; anti-seismic; buildings; structural; steel; concrete; earthquake

1. Introduction

El enfoque actual de las edificaciones sismorresistentes se basa en un análisis estructural. ¿Cuál es el enfoque que pueden dar las construcciones sismorresistentes en el tema estructural? Y ¿Qué incorporan las edificaciones sismorresistentes? Elementos compuestos de acero y hormigón armado en una estructura, y el enfoque que se realizará en cada edificación serán base para realizar la investigación. En base a lo investigado, este manuscrito toma como enfoque evaluar la rentabilidad y la capacidad de Resistencia sísmica de edificaciones. Siendo que, las edificaciones puedan poseer varios pisos con columnas hechas de acero y concreto (Papavasileiou & Charmpis, 2020).

La solución a presentar en la investigación. Se enfoca en revisar los mejores materiales para las construcciones sismorresistentes. Las columnas de edificios altos tienen cargas axiales (son aquellas capaces de resistir una fuerza en la misma dirección del eje) elevadas. En los niveles más bajos. Estas columnas deben mantener su capacidad de carga axial durante un terremoto en área de alta sismicidad. Las construcciones elaboradas o compuestas de acero y hormigón ofrecen importantes ventajas para su uso. Por ejemplo, el Sistema principal de Resistencia lateral en estructuras de construcción sometidas a cargas sísmicas. Estos sistemas incluyen vigas de acero con tubos de acero relleno de concreto 8CFT). Columnas de vigas de concreto reforzado de acero 8es decir, secciones de acero revestidas). Marcos arriados que tienen columnas de tubos de acero rellenos de hormigón; y una variedad de sistemas de paredes compuestos e híbridos (Hajjar, 2020).

Como antecedente se tiene el terremoto vivido en Ecuador el 16 de abril del 2016. Debido a edificaciones sin bases sismorresistentes. Se sufrieron pérdidas materiales como humanas. Por ello, en la investigación se habla sobre los materiales y estructuras adecuadas para evitar catástrofes. Siendo así, una opción viable. Aplicar de manera rigurosa elementos de pared compuestos de acero y hormigón. Se compone de una sección central completa de hormigón grueso combinada con placas frontales de acero delgadas. El elemento generalmente no tiene refuerzo plano convencional (es decir, barras horizontales o verticales) ni refuerzo de corte convencional. Las placas de revestimiento de acero se conectan al núcleo a través de anclajes de perno

Citation: To be added by editorial staff during production

Academic Editor: Firstname Last name

Received: date

Revised: date

Accepted: date

Published: date



Copyright: © 2024 by the authors.

Submitted for possible open access

publication under the terms and

conditions of the Creative Commons

Attribution (CC BY) license

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

que están regularmente espaciados. En ocasiones, se utilizan tirantes transversales para unir las dos placas frontales de acero y ayudar a reforzar el corte (Vecchio & McQuade, 2011).

A continuación, se presentan investigaciones que ayudan a dar más claridad a la problemática que se expone respecto a los materiales de acero y hormigón y su efecto ante sismos.

♦ *Estado del arte sobre edificaciones sismorresistentes*

En la presente investigación se quiere dar a conocer si realmente las edificaciones sismorresistentes ayudan a evitar desastres a grandes escalas en caso de terremotos. Por lo tanto, para despejar esta incógnita se realizará una comparación de trabajos que han sido estudiados, como son los casos vividos en Chile y Turquía.

Tanto Bruneau como Sharon, le dan un énfasis a los materiales que son mejores para la construcción de edificaciones sismorresistentes. Se enfocan en la correcta implementación a la hora de la construcción. Dicen que los materiales como el acero y el hormigón son más recomendados al momento de construir. También, su efectividad dependerá de los detalles y la respuesta de cada material al momento de fundirlo. La buena compactación e implementación hará que sea sostenible en momentos de sismos.

El estudio realizado deja como evidencia. El hormigón armado de muros estructurales no sufren casi daños estructurales porque poseen buenas bases. Así mismo, las vigas y columnas realizadas con concreto no se presentaron débiles ante el movimiento sísmico.

Para evitar debilidad de las estructuras. Se debe implementar mayor atención a los detalles de fundimiento junto a una buena práctica y técnica. Evitando la mala ejecución de los materiales cuando se construye. Se obtiene una buena proporción estructural con mayor rigidez (Bruneau, 2002), (Sharon L. Wood, 1991).

En conclusión, Bruneau y Sharon resaltan la importancia de usar materiales y prácticas de construcción adecuadas. Generando mayor eficacia al momento de construir edificaciones sismorresistentes. Puesto que, la calidad de la construcción y la atención a los detalles son factores cruciales para la Resistencia y recuperación sísmica. Como resultado de esto se garantiza la seguridad y durabilidad de las edificaciones en condiciones adversas como los terremotos.

2. Materials and Methods

Para realizar este documento de investigación, el grupo inicialmente se puso de acuerdo mediante una reunión para que cada uno investigue y realice ciertas partes del trabajo. De este modo, se facilitaría la realización de la investigación, teniendo un límite de tiempo para realizar la entrega del avance, así daría el tiempo de unir y posteriormente realizar las debidas correcciones. Enviando un documento corregido y con mayor aceptabilidad.

En el proceso, se fue investigando y usando los pasos para redactar un documento científico, según lo explicado en clase y lo que se comprendía de lo que se investigaba se iba realizando el documento de investigación. Según lo explicado, nosotros realizamos primero la introducción, luego el resumen con las palabras claves y por ende el abstract, se siguió con los siguientes puntos, como lo son: los trabajos relacionados, materiales y métodos, la tabla de extracción de datos, etc.

Al momento de realizar la extracción de datos el motor de búsqueda a utilizar en la investigación fue Google, Scholar, Springer, Elsevier. Estas herramientas investigativas las cuales fueron recomendadas, obteniendo así fuentes confiables de información teniendo en cuenta que aquellos documentos seleccionados contengan DOI para poder utilizarlos.

La herramienta Mendeley, fue otra de las herramientas importantes, la cual nos permitió obtener de una manera sencilla las citas y referencias bibliográficas.

La investigación que se presenta, explora y analiza algunas prácticas, técnicas y materiales que son indispensables e importantes al momento de construir edificaciones sismorresistente. La importancia del estudio que se está realizando, radica en conocer sobre el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes, en base a esto, sabremos los materiales, técnicas y prácticas efectivas para brindarle Resistencia y seguridad a las edificaciones.

♦ **Objetivo**

Examinar las ventajas del uso de materiales como el acero y hormigón, la ubicación geográficas al momento de construir, esto se llevarán a cabo mediante exhaustas investigaciones, en la cual recopilaremos datos y lo analizaremos para extraer la información necesario y poder responder las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las ventajas de usar las columnas de acero en edificaciones?
2. ¿Cómo afecta la combinación de acero y otros materiales en las construcciones sismorresistentes?
3. ¿Cómo influye la ubicación geográfica en el diseño de una construcción sismorresistente?
4. ¿Cuáles son las innovaciones más recientes y cómo reaccionan ante sismos?
5. ¿Existen casos en los que se prefiere usar columnas mixtas en lugar de columnas de acero para edificaciones sismorresistentes?

Esta hipótesis se basará en la idea de que las columnas mixtas de acero combinen propiedades favorable de ambos materiales, como la alta Resistencia y durabilidad del acero y la gran rigidez y estabilidad del concreto y acero. Es por lo que se espera que las columnas mixtas de acero demuestren mayor capacidad de Resistencia y menor vulnerabilidad a daños estructurales durante eventos sísmicos.

3. Results

- ♦ 1ra pregunta: ¿Cuáles son las ventajas de usar columnas de acero en edificaciones?

La ventaja de usar acero en columnas para edificaciones es que le darán una mayor eficacia y resistencia ante sismos. Este tipo de material se usa con frecuencia en construcciones sismorresistentes por tener la capacidad de resistir cargas verticales y horizontales, lo que las hace efectivas en situaciones sísmicas.

- ♦ 2da pregunta: ¿Cómo afecta la combinación de acero y otros materiales en las construcciones sismorresistentes?

No afecta para mal la combinación de acero con otros materiales, es más, si se logra combinar de manera adecuada los materiales se logra tener mayor efectividad en las columnas teniendo beneficios significativos, tales como: resistencia y ductilidad, lo cual ayuda a minimizar daños y maximiza la seguridad estructural.

- ♦ 3ra pregunta: ¿Cómo influye la ubicación geográfica en el diseño de una construcción sismorresistente?

La ubicación geográfica es de suma importancia al momento de realizar una construcción sismorresistente ya que impacta de manera significativa. Las zonas deben ser evaluadas para realizar una buena elección de materiales, técnicas y más, mitigando los efectos del sismo.

- ♦ 4ta pregunta: ¿Cuáles son las innovaciones más recientes y cómo reaccionan ante sismos?

Algunas innovaciones son materiales, amortiguadores sísmicos de base, sistemas de aislamiento sísmico y también un sistema de monitoreo en tiempo real. Estas

innovaciones tienen como propósito minimizar daños en las edificaciones ante un sismo.

- ♦ 5ta pregunta: ¿Existen casos en los que se prefiere usar columnas mixtas en lugar de columnas de acero para edificaciones sismorresistentes?

Es cierto, en ciertas ocasiones se prefiere usar las columnas mixtas. Las columnas mixtas combinan el acero y el concreto ofreciendo ventaja de resistencia. Se usan más que todo en estructuras de gran altura y en regiones con riesgo sísmico alto, ya que, estas columnas mixtas optimizan la seguridad estructural. Como se muestra en la figura 1., el mal uso y práctica de los materiales hacen que tengan poca eficacia antes sismos provocando la caída de la edificación.



Figure 1. Terremoto mag. 7, 6; Ecuador, 2016

Table 1. Extracción de datos

Referencias	Título	Tipo de Documento	Año	Ventajas	Efectos de la combinación
https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/stbu.2003.156.1.3	Structures and buildings	Journal	2003	Las columnas de acero son aplicadas de manera más frecuente ya que tienen la ventaja de dar una mayor resistencia ante sismos.	La combinación de los materiales son el acero y el concreto, se mezclan las propiedades de ambos para brindarles una necesidad de ingenieros un nuevo diseño eficiente.
https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100988	Earthquake-resistant buildings with steel or composite columns: Comparative assessment using structural optimization	Journal	2020	Ayudan a resistir acciones sísmicas, dependiendo de las estructuras que incorporarán ambos tipos de elementos.	Las acciones se tienen en cuenta a través de restricciones de deflexión evaluadas ante análisis empuje estático no
https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-006-9129-5	The effect of Steel fibres on the earthquake-resistant design of reinforced concrete structures	Journal	2006	Al realizar el análisis, el comportamiento satisface los requisitos de rendimiento actuales en cuanto a resistencia y ductilidad.	Sin dicho análisis.

https://doi.org/10.1016/S0141-0296(00)00023-7	Innovation in earthquake resistant concrete structure design philosophies; a century of progress since Hennebique's patent	Journal	2001	Aumentar el amortiguamiento del sistema haciendo uso de componentes secundarios.	Sin información.
https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107172	Seismic resilient steel structures: A review of research, practice, challenges and opportunities	Journal	2022	Sin información.	Las estructuras acerosísmicas resistentes, que pueden restablecerse rápidamente después de un terremoto.
https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/109-089	Response of earthquake-resistant reinforced-concrete buildings to blast loading.	Journal	2009	Sin información.	Combinados las capacidades gráficas y las actividades para facilitar un diagnóstico, confiable y rápido.
https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)30013-5	Analysis of the Earthquake-Resistant Design Approach for Buildings.	Journal	2014	El desarrollo de nuevos códigos para estructuras sismorresistentes ha permitido garantizar un mejor comportamiento de las edificaciones, cuando son sometidas a sismos.	Sin información.
https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102334	Earthquake-resistant CLT buildings stiffened with vertical steel ties	Journal	2021	Se caracterizan por una alta resistencia en el plano y rigidez.	Sin información.
https://doi.org/10.3390/ma13081919	Optimal Design of Seismic Resistant RC Columns.	Journal	2020	Consiste en proporcionar la columna de manera que los efectos de la acción sísmica sean resistidos por el máximo de la curva de interacción momento flector- fuerza axial.	La sección de concreto y el refuerzo de acero deben dimensionarse de modo que el momento flector de diseño cumpla la regla de columna fuerte- viga débil junto a la fuerza axial de diseño del análisis para la situación de diseño sísmico.

(Srihari et al., 2023)	Study on axial behaviour of concrete filled steel tubular columns	Journal	2023	En este estudio, los resultados muestran que los tubos de acero de hormigón han obtenido una amplia aceptación en lo que compete a la construcción de edificios debido a su capacidad de soportar cargas axiales.	La combinación de acero y hormigón en las columnas, ayuda en una excelente ductilidad.
(Velraj Kumar et al., 2023)	Experimental and theoretical investigation of concrete filled and encased steel column under compression loading	Journal	2023	En este análisis se determina que las ventajas principales de estas, son su alta resistencia, ductilidad y su resistencia al fuego.	El comportamiento axial de una columna de tubo de acero relleno de hormigón utilizando fibra de acero.
(Ding et al., 2024)	Study on restraint coefficient of the stirrups-stiffened square concrete	Journal	2024	En este estudio una de sus ventajas es el bajo consumo de hormigón y acero.	Los estribos mejoraron significativamente las propiedades mecánicas de las columnas con grandes

(Gao et al., 2024)	Seismic performance of T-shaped CFST column to U- shaped steel composite beam joints	Journal	2024	En este estudio lasvigas compuestas de acero y hormigón en forma de U tienes las ventajas deuna alta capacidad de carga y sustentabilidad, resistente al fuego y una construcción rápida.	Se realizó una combinació n de tubos de acero rellenas de hormigón con columnas las cuales no quedaronexpuestas las columnas enel interior.	La vi
(Jiang et al., 2024)	Design method of axial compression stabilityfor cross-section corrugated plate steel special- shaped column	Journal	2024	Ayuda a obtener unmomento de inercia y estabilidadgeneral.	Hormigónarmado y tubos de acero.	Colu
(Zhanget al., 2024)	Seismic behaviou r of	journal	2024	Emerge unalto rendimient	Elementos estructurale s compuesto	Tubo

	FRP-concrete-steel double-tube columns with shear studs: Experimental study and numerical modelling			o con alta resistencia y notables características	por dos tubos rellenos de hormigón.	
(Isleem et al., 2024)	Parametric investigation of rectangular CFRP-confined concrete columns reinforced by inner elliptical steel tubes using finite element and machine learning models	Journal	2024	En este estudio las columnas realizadas de hormigón confinado con polímero reforzado con fibra de carbono, con la ventaja de mejorar la fuerza, la durabilidad y resistencia.	El hormigón confinado con polímero reforzado con fibra la cual es utilizada para la durabilidad del hormigón.	Horm

(Bakhshayesh Eghbali & Andamnejad, 2023)	Structural performance of rigid shear connectors in concrete encased steel	Journal	2023	Las columnas compuestas de acero revestido de hormigón logran el comportamiento compuesto	En este caso, la combinación se da entre el hormigón y el acero.	Hormigón y acero.
	composite columns			de aquellas columnas.		
(Tao et al., 2023)	Analysis and design of axially loaded ring-beam joints connecting steel tubed-RC column and RC beams	Journal	2023	En este estudio se dispone una unión de vigas anulares de hormigón, el cual tiene como ventaja la resistencia y capacidad.	Se dio a cabo un estudio de los efectos y resistencia del hormigón, el límite elástico del tubo de hacer, el espesor y su altura.	Las de hormigón
016/j.conbuildmat.2006.06.017	Hybrid FRP-concrete-steel tubular columns: Concept and behavior	2007	Journal	Sin Información	Mejora el rendimiento estructural al brindarle al concreto soporte adicional y resistencia al corte.	Consta de aluminio y acero con un espesor.

016/j.istruc.2021.01.038	Life cycle cost optimization of earthquake-resistant steel framed tube tall buildings	2021	Journal	Sin Información	Sin Información	Edificios o centralizados con estructura
016/j.istruc.2019.02.010	Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings	2019	Journal	Sin Información	Sin Información	Se proponen sistemas modulares de acero y hormigón
016/S0143-974X(99)00062-0	Assessment of current methods for the design of composite columns in buildings	2000	Journal	Sin Información	Al utilizar una columna compuesta incluyen una sección transversal más pequeña y una mayor relación resistencia-peso que un miembro de hormigón armado convencional.	Columnas de concreto pretensado
016/S0143-974X(01)00021-9	State of the art report on steel-concrete composite columns	2001	Journal	La mejora de la ductilidad del acero de alta resistencia ha aumentado los esfuerzos de investigación en este campo.	Sin Información	Columnas de acero
016/j.jcsr.2012.06.011	Strengthening of steel structures with fiber-reinforced polymer composites	2012	Journal	Sin Información	Los compuestos de FRP tienen varias ventajas sobre el aluminio, las más notables son su resistencia superior a la corrosión y su alta resistencia al peso.	Estructuras reforzadas con FRP

016/j.engstruct.2021.112991	Application of buckling-restrained braces to earthquake-resistant design of buildings: A review	2021	Journal	Sin Información	Conexiones de fricción pueden ser empleados para evitar daños o colapsos en las estructuras, a través de la fricción o la histéresis inelástica de las deformaciones de torsión, corte y flexión.	Sin Inform
016/j.engstruct.2017.03.019	An innovative seismic-resistant steel frame with reinforced concrete infill walls	2017	Journal	Sin Información	Una alta rigidez inicial que resulta beneficiosa para reducir los daños constructivos en condiciones ambientales adversas, se utilizan ramos de hormigón armado (SRCW).	Estructuras de acero y hormigón armado combinados. Los elementos de hormigón armado compuestos (SRCW).
016/j.jcsr.2013.02.016	Hysteretic behaviour of dissipative bolted fuses for earthquake resistant steel frames	2013	Journal	Sin Información	Fáciles de reemplazar y mostraron buenos indicadores de desempeño en términos de ductilidad, rigidez, disipación de energía y resistencia.	Sin Inform

4. Discussion

Según lo leído y analizado de la extracción de datos. Se concluye que las columnas de acero tienen como ventaja la Resistencia ante sismos. La combinación de materiales en las columnas da mayor Resistencia que una columna de acero sola. Por ello, se dice que se prefiere hacer uso de las columnas mixtas debido a su Resistencia y ductilidad en edificaciones y zonas de riesgo sísmico. Las innovaciones no son muchas, pero, si nos ayuda a minimizar los daños.

Sin embargo, se debe tener en consideración siempre la zona geográfica al momento de construir. Esto, nos permite mitigar los efectos sísmicos según las normativas que se presente en el lugar.

5. Conclusions

Las edificaciones sismorresistentes son esenciales para garantizar la seguridad de las estructuras en áreas propensas a terremotos. En particular, las columnas de acero o mixtas, han demostrado ser muy eficientes para resistir fuerzas sísmicas. En conclusión, se obtiene alta resistencia a la fuerza sísmica ya que se proporcionan en las columnas de acero y su ductilidad permite la deformación controlada durante un terremoto y esto evita un colapso repentino, también, se obtiene una construcción más rápida ya que las estructuras con columnas de acero tienden a ser más livianas y esto es esencial en áreas propensas a terremotos.

La correcta aplicación de prácticas y estándares de construcción sismorresistente se torna crucial para reducir al mínimo los riesgos de pérdida de personas y materiales en eventos sísmicos. En resumen, las edificaciones sismorresistentes con columnas de acero o mixtas logran tener una eficiente resistencia y ductilidad ante sismos.

Sin embargo, es crucial mantenerse actualizado con los avances de materiales y tecnologías para mejorar continuamente las estructuras sismorresistentes en las edificaciones.

Reference

Bruneau, M. (2002). Building damage from the Marmara, Turkey earthquake of August 17, 1999. *revista de sismología*, 6, 357–377. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1020035425531>

Sharon L. Wood, M. (1991). Performance of Reinforced Concrete Buildings during the 1985 Chile Earthquake: Implications for the Design of Structural Walls. *Sage Journals*, 7(4), 607 - 638. doi:<https://doi.org/10.1193/1.1585645>

Grigorian, M., Moghadam, A. S., Mohammadi, H., & Kamizi, M. (2019). Methodology for developing earthquake-resilient structures. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 28(2), e1571. <https://doi.org/10.1002/TAL.1571>

Grigorian, M., & Grigorian, C. E. (2012). An Introduction to the Methodology of Earthquake Resistant Structures of Uniform Response. *Buildings 2012, Vol. 2, Pages 107-125*, 2(2), 107–125. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS2020107>

Hajjar, J. F. (2002). Composite steel and concrete structural systems for seismic engineering. *Journal of Constructional Steel Research*, 58(5–8), 703–723. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(01\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00093-1)

- Papavasileiou, G. S., & Charmpis, D. C. (2020). Earthquake-resistant buildings with steel or composite columns: Comparative assessment using structural optimization. *Journal of Building Engineering*, 27, 100988. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.100988>
- Vecchio, F. J., & McQuade, I. (2011). Towards improved modeling of steel-concrete composite wall elements. *Nuclear Engineering and Design*, 241(8), 2629–2642. <https://doi.org/10.1016/J.NUCENGDES.2011.04.006>
- Bakhshayesh Eghbali, N., & Andamnejad, P. (2023). Structural performance of rigid shear connectors in concrete encased steel composite columns. *Structures*, 54, 348–368. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.05.040>
- Ding, F., Lu, D., Lai, Z., & Liu, X. (2024). Study on restraint coefficient of the stirrups-stiffened square concrete filled double-skin steel tube axial compression stub columns. *Structures*, 60, 105847. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.105847>
- Fang, C., Wang, W., Qiu, C., Hu, S., MacRae, G. A., & Eatherton, M. R. (2022). Seismic resilient steel structures: A review of research, practice, challenges and opportunities. *Journal of Constructional Steel Research*, 191, 107172. <https://doi.org/10.1016/J.JCSR.2022.107172>
- Foraboschi, P. (2020). Optimal Design of Seismic Resistant RC Columns. *Materials 2020*, Vol. 13, Page 1919, 13(8), 1919. <https://doi.org/10.3390/MA13081919>
- Gao, S., Chen, R., Yang, J., Guo, L., & Deng, L. (2024). Seismic performance of T-shaped CFST column to U-shaped steel composite beam joints. *Thin-Walled Structures*, 195, 111443. <https://doi.org/10.1016/J.TWS.2023.111443>
- Isleem, H. F., Zewudie, B. B., Bahrami, A., Kumar, R., Xingchong, W., & Samui, P. (2024). Parametric investigation of rectangular CFRP-confined concrete columns reinforced by inner elliptical steel tubes using finite element and machine learning models. *Heliyon*, 10(2), e23666. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E23666>
- Jiang, Z. qin, Niu, Z. yao, Zhang, A. L., & Liu, X. chun. (2024). Design method of axial compression stability for cross-section corrugated plate steel special-shaped column. *Thin-Walled Structures*, 194, 111243. <https://doi.org/10.1016/J.TWS.2023.111243>
- Julián, C., Hugo, H.-B., & Astrid, R.-F. (2014). Analysis of the Earthquake-Resistant Design Approach for Buildings in Mexico. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(1), 151–162. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)30013-5](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)30013-5)
- Kotsovos, G., Zeris, C., & Kotsovos, M. (2007). The effect of steel fibres on the earthquake-resistant design of reinforced concrete structures. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 40(2), 175–188. <https://doi.org/10.1617/S11527-006-9129-5/METRICS>
- Pacchioli, S., Pozza, L., Trutalli, D., & Polastri, A. (2021). Earthquake-resistant CLT buildings stiffened with vertical steel ties. *Journal of Building Engineering*, 40, 102334. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102334>
- Papavasileiou, G. S., & Charmpis, D. C. (2020). Earthquake-resistant buildings with steel or composite columns: Comparative assessment using structural optimization. *Journal of Building Engineering*, 27, 100988. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.100988>
- Saatcioglu, M., Ozbakkaloglu, T., Naumoski, N., & Lloyd, A. (2009). Response of earthquake-resistant reinforced-concrete buildings to blast loading. This article is one of a selection of papers published in the Special Issue on Blast Engineering. <https://doi.org/10.1139/L09-089>, 36(8), 1378–1390. <https://doi.org/10.1139/L09-089>
- Smith, K. G. (2001). Innovation in earthquake resistant concrete structure design philosophies; a century of progress since Hennebique's patent. *Engineering Structures*, 23(1), 72–81. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(00\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(00)00023-7)
- Srihari, J. R., Sharmila, S., & Praveen Kumar, S. (2023). Study on axial behaviour of concrete filled steel tubular columns. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.07.112>
- Tao, Y., Yan, B., Gan, D., & Zhao, Y. (2023). Analysis and design of axially loaded ring-beam joints connecting steel tubed-RC column and RC beams. *Structures*, 57, 105304. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.105304>
- Uy, B. (2015). High-strength steel–concrete composite columns for buildings.

<https://doi.org/10.1680/Stbu.2003.156.1.3>, 156(1), 3–14. <https://doi.org/10.1680/STBU.2003.156.1.3> Velraj Kumar, G., Mohan, A., Gopalakrishnan, R., & Haritha, S. (2023). Experimental and theoretical investigation of concrete filled and encased steel column under compression loading. *Materials Today: Proceedings*.

<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.08.130>

Zhang, B., Lin, S., Zhang, S., Lu, X., & Yu, T. (2024). Seismic behaviour of FRP-concrete-steel double-tube columns with shear studs: Experimental study and numerical modelling. *Engineering Structures*, 302, 117339.

<https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2023.117339>