


RESEARCH ARTICLE

Análisis técnico comparativo entre sistemas constructivos de steel framing y estructuras metálicas para viviendas regulares.

David P. Guerrero Cuasapaz ¹  Milton B. Guerrón Figueroa ¹  Jonnathan R. Lalangui García ¹ 

Erik J. Chavez Amaguaña ¹  Carlos A. Paz Zambrano ¹ 

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Departamento de Ingeniería Civil – Quito, Ecuador.

✉ Correspondencia: dguerrero@ups.edu.ec ☎ + 593 99 576 1929

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj72128>

Resumen: El incremento poblacional y los avances tecnológicos han llevado a la industria de la construcción a buscar métodos más eficientes para aumentar la productividad y reducir el desperdicio. Como resultado, la construcción en seco, particularmente el *steel framing*, ha ganado notable popularidad en el mercado. Este enfoque innovador no solo optimiza el uso de materiales, sino que también acelera los tiempos de construcción y mejora la sostenibilidad del proceso. El artículo de investigación se centró en la necesidad de evaluar y comparar el comportamiento sismorresistente de dos sistemas estructurales: el *steel framing* y la estructura metálica convencional, entendiéndose como tal al sistema porticado. Este análisis es especialmente relevante en el contexto de Ecuador, una región con alto riesgo sísmico. El estudio buscó determinar cuál de estos sistemas ofrece una mayor eficiencia en lo que respecta a su comportamiento sismorresistente para las viviendas multifamiliares con una configuración regular en planta. Además, esta investigación pretende proporcionar directrices claras para la elección del sistema constructivo más adecuado, contribuyendo así a mejorar las prácticas constructivas y la seguridad de las viviendas en áreas propensas a terremotos. Además de los parámetros de diseño sismorresistente, se identificó otro factor relevante en el ámbito constructivo: el índice de peso sobre área de la estructura de vivienda. Se observó una ligera diferencia entre el sistema *steel framing* y la estructura metálica convencional, siendo el *steel framing* un 2,7 % más pesado que la estructura metálica convencional.

Palabras claves: construcción sostenible, diseño sismorresistente, eficiencia estructural, estructura metálica, *steel framing*.

Comparative technical analysis between steel framing construction systems and metal structures for regular housing

Abstract: The population growth and technological advancements have prompted the construction industry to seek more efficient methods to increase productivity and reduce waste. Consequently, dry construction, particularly steel



Cita: Guerrero Cuasapaz, D. P., Guerrón Figueroa, M. B., Lalangui García, J. R., Chavez Amaguaña, E. J., & Paz Zambrano, C. A. (2024). Análisis técnico comparativo entre sistemas constructivos de steel framing y estructuras metálicas para viviendas regulares. *Green World Journal*, 07(02), 128. <https://doi.org/10.53313/gwj72128>

Received: 20/ April /2024

Accepted: 31/ May /2024

Published: 08/Jun/2024

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2024 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and

framing, has gained significant popularity in the market. This innovative approach not only optimizes material usage but also accelerates construction timelines and enhances process sustainability. The research article focused on the need to assess and compare the seismic performance of two structural systems: steel framing and conventional metal structure, understood as the framed system. This analysis is particularly relevant in the context of Ecuador, a region with high seismic risk. The study aimed to determine which of these systems offers greater efficiency in terms of seismic performance for multi-family housing with a regular floor plan configuration. Additionally, this research aims to provide clear guidelines for selecting the most suitable construction system, thereby improving construction practices and housing safety in earthquake-prone areas. In addition to seismic design parameters, another significant factor in the construction industry was identified: the weight-to-area ratio of the housing structure. A slight difference was observed between the steel framing system and the conventional metal structure, with steel framing being 2.7 % heavier than the conventional metal structure.

Keywords: sustainable construction, seismic design, structural efficiency, metal structures, seismic resistance, steel framing.

1. Introducción

La estimación del déficit habitacional se enfrenta a múltiples desafíos. A pesar de ello, los datos ofrecidos por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [1] son cruciales para poner de manifiesto la seriedad de la situación habitacional en América Latina. De acuerdo con la información proporcionada, aproximadamente el 54 % del parque habitacional actual en la región se ve afectado por este déficit [2].

El incremento gradual de proyectos residenciales en América Latina y el Caribe ha impulsado a diversas industrias de la región a priorizar la construcción rápida de viviendas. Es por esta razón que la construcción en seco, específicamente el *steel framing*, ha ido ganando terreno en el mercado. Este sistema, más avanzado y eficiente que los métodos tradicionales de construcción, está emergiendo como una opción preferida para satisfacer esta demanda creciente [3].

El crecimiento demográfico y los avances tecnológicos han impulsado a la industria de la construcción a buscar sistemas más eficientes para aumentar la productividad y reducir desperdicios. En América Latina, la construcción sigue siendo artesanal, con baja productividad y altos niveles de desperdicio. El uso de nuevas tecnologías, como el acero en la construcción, se presenta como una alternativa para mejorar la eficiencia. A pesar de que la región no es productora de acero, su uso en edificaciones es limitado. La implementación de sistemas constructivos con acero requiere profesionales capacitados y proyectos detallados para minimizar pérdidas y plazos. Los arquitectos desempeñan un papel crucial en la promoción de nuevas técnicas y productos. El acceso a información de calidad es fundamental para fomentar el uso de sistemas constructivos en acero, como el *steel framing* [4].

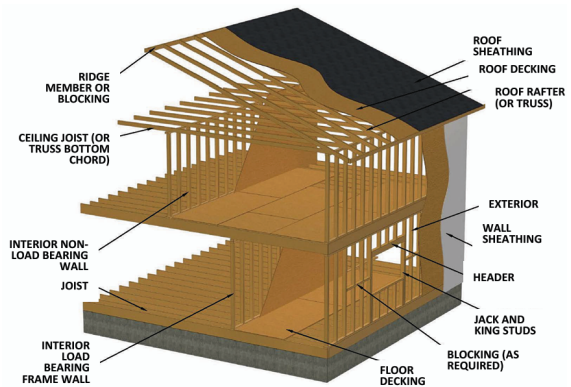
El uso exitoso del acero galvanizado en estructuras de acero liviano durante más de 30 años en edificaciones residenciales, con un mercado en crecimiento para este tipo de estructuras en el Reino Unido. Los sistemas modernos utilizan secciones conformadas en frío a partir de tiras de acero pre-galvanizado, ofreciendo una protección confiable en comparación con los recubrimientos de pintura. Históricamente, los sistemas de viviendas de acero en el Reino Unido utilizaron componentes de acero laminado en caliente y pintado, pero el acero galvanizado moderno proporciona niveles de protección más altos, reduciendo el riesgo de humedad dentro de los envolventes de edificios aislados.

La estructura de acero liviano en viviendas implica secciones conformadas en frío, como se puede apreciar en la figura 1 (a); producidas a partir de tiras de acero pre-galvanizado, ofreciendo ventajas como la rapidez en la construcción en el sitio a través de la prefabricación. Las estructuras de acero liviano típicamente utilizan secciones C o Z unidas por varios métodos como pernos o

soldadura, con soldaduras producidas en fábrica pintadas con pintura rica en zinc para protección [5].



(a)



(b)

Figura 1. (a) Estructura de acero ligero [6]; (b) Componentes y ensamblajes de una casa de madera [7].

El método de construcción conocido como *steel framing* tiene sus raíces en el tradicional "*Wood Framing*", que fue predominantemente utilizado por los inmigrantes en Estados Unidos. Consiste en el uso de montantes de madera dispuestos a distancias cortas y rematados en sus extremos por soleras también de madera. Además, los entrepisos se conforman con viguetas de madera y los muros y entrepisos se recubren con diversos tipos de revestimientos, como se puede observar en la figura 1 (b).

Este enfoque fue adaptado para construcciones de acero hace algunas décadas, dando lugar al sistema *steel framing*, que emplea perfiles galvanizados muy livianos. Con estos perfiles, es posible construir estructuras de varios pisos. Su creciente popularidad se debe a su carácter reciclable y las ventajas significativas que ofrece en comparación con la madera [8].

Esta investigación se centró en evaluar el comportamiento sísmico de dos sistemas estructurales para viviendas multifamiliares con configuraciones regulares en planta, para este efecto se empleó un paquete computacional especializado para determinar los parámetros estructurales de cada sistema. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa que puede ser aprovechada en futuros proyectos de vivienda en el país.

2. Materiales y métodos

2.1 Características geométricas de la vivienda multifamiliar.

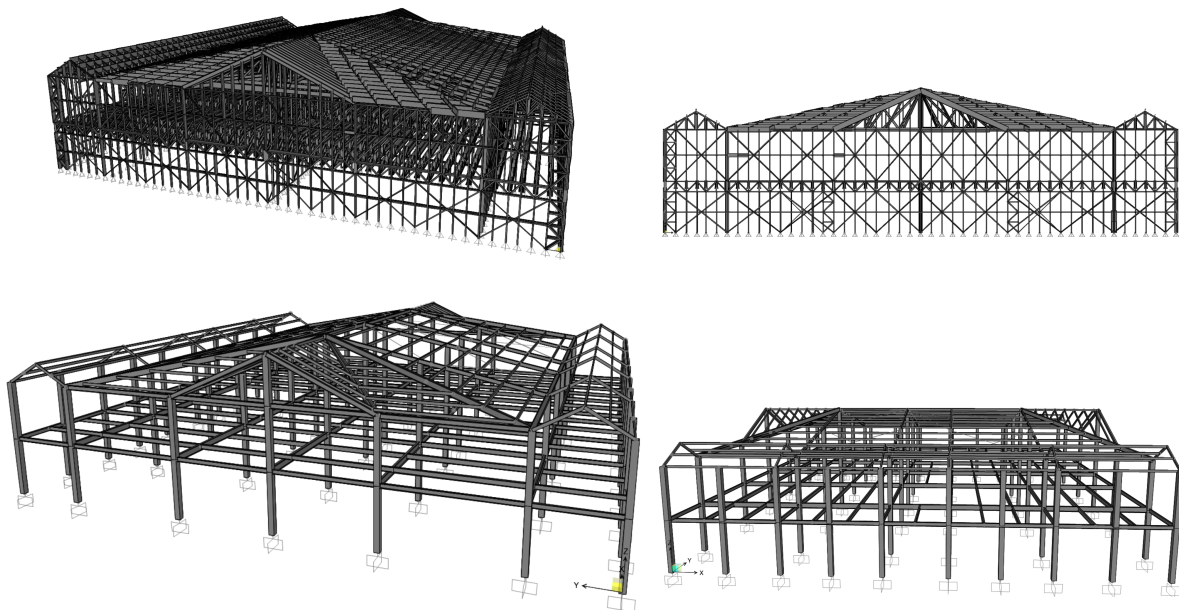
En este estudio, se utilizó como punto de referencia una vivienda descrita por Chavez et al. [9], la cual posee una disposición regular en planta. Se crearon dos tipos de viviendas con distintas características, lo que permitió analizar los parámetros sismorresistentes de cada una, tanto en un sistema de *steel framing* como en un sistema de estructura metálica convencional, definido como un sistema porticado. En la Tabla 1 se detallan las características geométricas generales de las viviendas analizadas, mientras que en la Figura 2 se presentan las vistas del proyecto arquitectónico que sirvieron de base para los modelos estructurales de cada sistema constructivo, los cuales se muestran en la Figura 3. Estos modelos fueron elaborados utilizando un programa de análisis estructural comercial [10].

Tabla 1. Parámetros geométricos de la vivienda analizada.

Características geométricas	Vivienda
Longitud en sentido X (m)	26,50
Longitud en sentido Y (m)	28,80
Altura entrepiso (m)	2,90
Altura total (m)	8,00
Número de niveles	2,00
Área total (m ²)	463,80
Cantidad de cubiertas	4,00



Figura 2. Vistas de proyecto arquitectónico de vivienda [9].

Figura 3. Modelos estructurales de vivienda multifamiliar: sistema *steel framing* y estructura metálica convencional [10].

La vivienda multifamiliar objeto de estudio en esta investigación fue modelado minuciosamente, teniendo en cuenta una serie de propiedades fundamentales de los materiales utilizados tanto para análisis, diseño y construcción. Estas propiedades, detalladas en la Tabla 2, abarcan aspectos mecánicos y estructurales, asegurando así una representación precisa y completa de la estructura en el análisis llevado a cabo.

Tabla 2. Propiedades asumidas de los materiales para la modelación de las estructuras.

Estructura vivienda multifamiliar	
Propiedad	Valor
F _y (MPa)	344,70
F _u (MPa)	448,20
γ acero (KN/m ³)	76,98
E acero (MPa)	200000

F_y: límite de fluencia del acero, F_u: tensión mínima de tracción, γ: peso específico, E: módulo de elasticidad.

2.2 Cargas y combinaciones de cargas aplicada a vivienda multifamiliar.

Para este estudio, se ha tomado en cuenta la aplicación de cargas tanto verticales como horizontales, siguiendo las directrices establecidas en la Normativa Ecuatoriana de la Construcción [11] [12], la cual establece los parámetros y criterios necesarios para el análisis y diseño estructural.

Las cargas verticales, como la gravedad y el peso propio de la estructura, fueron evaluadas como se detalla en la Tabla 3. Esta tabla proporciona valores de carga de los diversos tipos de elementos estructurales, teniendo en cuenta la resistencia del material y las condiciones específicas de carga a las que estuvo expuesto la vivienda multifamiliar.

Por otro lado, la carga horizontal, principalmente generada por el sismo, se indica en la Tabla 4, esta detalla los parámetros necesarios para calcular la fuerza debida a sismo que actuó sobre la estructura, en la que se consideró factores como la ubicación geográfica, la altura de la edificación, entre otros.

Al aplicar estas cargas de acuerdo con las disposiciones de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción [11] [12], se garantiza un diseño estructural que cumple con los estándares de seguridad y resistencia requeridos para proteger la vida de los ocupantes y preservar la integridad de la vivienda frente a las fuerzas externas.

Tabla 3. Cargas verticales aplicadas en modelos estructurales de la vivienda multifamiliar.

Tipo de carga (kgf/m ²)	Valor
Muerta, primer nivel	486,00
Viva, primer nivel	200,00
Muerta, cubierta	286,00
Viva, cubierta	70,00

Los modelos estructurales empleando *steel framing* y estructura metálica convencional han sido específicamente diseñados para su implementación tomando en consideración el uso residencial; situados en la ciudad de Quito, Ecuador. Estas modelaciones han sido cuidadosamente adaptadas a las condiciones del suelo tipo "D", asegurando una estructuración que toma en cuenta las recomendaciones dadas por normativa [11] [12].

Table 4. Parámetros para definir el cortante basal usado en modelos estructurales de la vivienda multifamiliar.

Descripción	Parámetro	Steel framing	Estructura metálica
Factor de importancia	I	1.00	1.00
Factor de reducción de fuerza sísmica	R	2.50	8,00
Zona sísmica	-	V	V
Factor de aceleración de zona	Z	0.40	0.40
Radio de amplificación espectral	η	2.48	2.48
Tipo de suelo	-	D	D
Factor de sitio, F_a	F_a	1.20	1.20
Factor de sitio, F_d	F_d	1.19	1.19
Factor de comportamiento inelástico del suelo, F_s	F_s	1.28	1.28
Factor asociado a la ubicación geográfica	r	1.00	1.00
Periodo límite en $T=T_o$	T_o (s)	0.126	0.126
Periodo límite en $T=T_c$	T_c (s)	0.70	0.70
Periodo límite en $T=T_l$	T_l (s)	2.11	2.10
Factor de irregularidad en planta	ϕ_P	1.00	1.00
Factor de irregularidad en elevación	ϕ_E	1,00	1,00
Cortante basal con respecto a la carga reactiva	V	0,476	0,149

En las modelaciones estructurales realizadas en el marco de esta investigación, tanto para el *steel framing* como para la estructura metálica convencional, se tuvieron en cuenta las combinaciones de carga recomendadas por la normativa [11]. Es decir, se evaluaron los efectos más desfavorables de las cargas aplicadas a cada una de las estructuras, asegurándose de aplicar las combinaciones descritas en la normativa correspondiente garantizando un diseño preciso y seguro, acorde con los estándares establecidos para la construcción de este tipo de estructuras, como se detalla a continuación en las ecuaciones de 1 a 7.

$$U_1 = 1,4D \quad (1)$$

$$U_2 = 1,2D + 1,6L + 0,50 \max [L_r; S; R] \quad (2)$$

$$U_3 = 1,2D + 1,6 \max [L_r; S; R] + \max [L; 0,5W] \quad (3)$$

$$U_4 = 1,2D + 1,0W + L + 0,5 \max [L_r; S; R] \quad (4)$$

$$U_5 = 1,2D + 1,0E + L + 0,2S \quad (5)$$

$$U_6 = 0,9D + 1,0W \quad (6)$$

$$U_7 = 0,9D + 1,0E \quad (7)$$

2.3 Sistemas constructivos en steel framing y estructura metálica convencional para la vivienda multifamiliar.

Para llevar a cabo un análisis y diseño estructural eficiente utilizando *steel framing*, es esencial comprender las exigencias inherentes al proceso constructivo de este sistema ampliamente utilizado en toda la región. Este enfoque constructivo, basado en perfiles de acero galvanizado, representa una innovación destacada que ha ganado terreno en la industria de la construcción. Los perfiles de acero galvanizado ofrecen una combinación excepcional de ligereza y resistencia, lo que los convierte en una opción ideal para una variedad de aplicaciones estructurales, ya sea en entresijos,

cubiertas o marcos de acero galvanizado. Su durabilidad y capacidad para soportar cargas considerables los hacen especialmente atractivos para proyectos tanto residenciales como comerciales. La versatilidad de este sistema, junto con su capacidad para adaptarse a una amplia gama de diseños arquitectónicos, lo convierte en una elección cada vez más popular entre los profesionales de la construcción [12].

Este sistema constructivo ha demostrado ser efectivo en áreas propensas a desastres naturales, como terremotos. Tras el terremoto en Chile en 2015, se observó una creciente demanda de estructuras de acero galvanizado por su capacidad para resistir fuerzas sísmicas y mantener la integridad estructural [13].

La adaptabilidad del *steel framing* es evidente en regiones sísmicas. Después del terremoto en Nepal en 2015, aumentó la demanda de estructuras de acero galvanizado por su resistencia sísmica [14]. Los terremotos son impredecibles, por lo que las estructuras deben ser coherentes y predecibles. A diferencia de la madera, el acero conformado en frío cumple con estos requisitos debido a su proceso de fabricación y propiedades [15].

El *steel framing* se distingue por su composición multifacética de diversos elementos que trabajan juntos para brindar estabilidad y funcionalidad. Comparándolo con el cuerpo humano: los perfiles de acero son los huesos, las fijaciones y flejes son las articulaciones y tendones, los diafragmas de rigidización son los músculos, y las capas de aislamiento y acabados son la piel y sistemas respiratorios [16].

Otro sistema constructivo es la estructura metálica, que utiliza pórticos metálicos como elementos estructurales principales. Estos ofrecen gran resistencia a cargas verticales y horizontales, siendo adecuados para regiones sísmicas. Su diseño modular permite una rápida instalación y costos más bajos [17].

Las estructuras con marcos de acero resistentes a momentos son una alternativa innovadora en diseño y construcción. Estudios destacan su eficacia ante cargas sísmicas y otros eventos, asegurando la integridad y seguridad en entornos residenciales [18].

De manera similar al otro sistema estructural descrito en este manuscrito, es importante señalar que este tipo de sistema también se puede aplicar en construcciones residenciales y sostenibles, ofreciendo una perspectiva completa para la elección del sistema más adecuado en proyectos de viviendas sostenibles [19].

Nguyen, et al. [20], se enfocan en la evaluación sísmica de marcos de acero resistentes a momentos en edificios residenciales de baja altura, explorando su capacidad para mitigar efectos de terremotos y garantizar la seguridad estructural.

En la presente investigación, se emplearon ambos sistemas con el objetivo de establecer una comparación y determinar cuál de ellos exhibe un mejor rendimiento en términos estructurales. Esto permitirá obtener una comprensión más completa de la función de cada componente que conforman cada una de las estructuras y así observar las fortalezas y debilidades de cada sistema en el contexto específico de nuestro estudio, es decir, enfocándose principalmente en una arquitectura específica que para el presente caso corresponde a una vivienda multifamiliar.

Es crucial destacar que el sistema de *steel framing* está ganando terreno de manera gradual en la práctica constructiva ecuatoriana. Históricamente, se han empleado sistemas constructivos más tradicionales en la región. Por lo tanto, esta investigación busca sentar una base para demostrar que el desempeño de este sistema puede equipararse e incluso competir con otros sistemas, como es el caso de los sistemas que emplean pórticos resistentes a momentos.

Tratándose de un sistema relativamente nuevo, es necesario conocer algunas recomendaciones tanto del tipo de análisis y diseño como lo referente al detallamiento en lo que respecta al proceso

constructivo, por lo tanto se puede indicar que para el sistema de *steel framing* es recomendable utilizar la sección B.2.1.1 [21] ya que se establece las especificaciones de cálculo para la selección de perfiles de *steel framing* así como también se detalla que se respetan las normas de diseño estructural prescritas por la norma AISI (American Iron and Steel Institute) del año 2007 [22], en consecuencia es fundamental seguir estas especificaciones para garantizar la seguridad y eficiencia de las construcciones de *steel framing*. Además, se debe mencionar que, en algunos casos especiales, puede ser necesario recurrir a referencias adicionales, como normas europeas o preceptos reconocidos de ingeniería estructural, para mejorar la aplicación práctica y la seguridad de las construcciones.

Dentro de los procesos constructivos, es fundamental entender las distintas formas y métodos de fabricación y montaje que caracterizan tanto al *steel framing* como al sistema tradicional de estructura metálica. Cada uno de estos sistemas posee particularidades bien definidas que deben ser consideradas por los constructores. Esto implica seguir las recomendaciones específicas proporcionadas por las normativas y los diseñadores estructurales. Además, es esencial comprender cómo se lleva a cabo cada etapa del proceso, desde la fabricación de los componentes hasta su montaje en el sitio de construcción, asegurando así la calidad y la integridad del proyecto final.

El detallamiento meticuloso es esencial para ambos sistemas, asegurando que el constructor pueda implementarlo correctamente y evitar contratiempos durante la obra. Por ejemplo, en el caso del *steel framing*, se requieren detalles específicos para la preparación de espacios destinados a aberturas, como ventanas, y es crucial considerar la rigidez de ciertos tramos, discutido en profundidad en el análisis y diseño estructural, tal como se ilustra en la figura 4. Este enfoque detallado y preciso garantiza eficiencia y calidad en la ejecución del proyecto.

Por otro lado, en el proceso constructivo con estructura metálica convencional, uno de los aspectos más críticos es la conexión entre vigas principales y secundarias, así como la unión entre la placa colaborante y sus conectores de corte, como se muestra en la figura 5. Estas conexiones son fundamentales para la estabilidad estructural y la distribución adecuada de cargas. Un detallamiento cuidadoso y una ejecución precisa son indispensables para asegurar la integridad y durabilidad del proyecto en su conjunto.

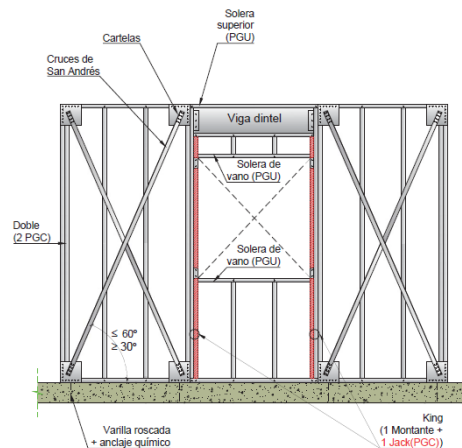


Figura 4. Detalle de rigidización (cruces de San Andrés) y unión de paneles en sistemas *steel framing* [8].

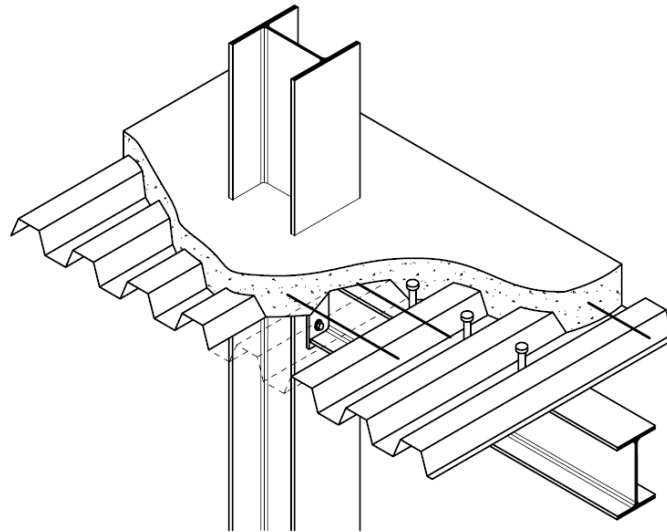


Figura 5. Detalle de conexión general en sistemas de estructura de acero [23].

3. Resultados y discusión

Con base en lo descrito en los acápites anteriores de este manuscrito, es importante destacar que, para realizar un análisis comparativo de dos tipos de sistemas estructurales, es fundamental revisar ciertos parámetros establecidos bajo normativas y recomendaciones específicas. Estos parámetros son esenciales no solo para cumplir con los estándares de seguridad, sino también para asegurar el óptimo desempeño de las estructuras frente a diversas solicitaciones, tanto horizontales como verticales. La adecuada evaluación y verificación de estos parámetros permiten garantizar la integridad y funcionalidad de las edificaciones bajo condiciones adversas.

Entre los parámetros clave que deben ser considerados se incluyen los periodos de vibración, las derivas inelásticas, los desplazamientos, las fuerzas cortantes de piso, entre otros. Cada uno de estos aspectos juega un papel crucial en la respuesta global de la estructura ante eventos sísmicos y otras cargas dinámicas. A continuación, se proporciona una explicación detallada de cada uno de ellos, subrayando su importancia en el análisis y diseño estructural:

3.1 Periodos de vibración.

Según Paz y Kim [24], los periodos de vibración de una estructura son fundamentales para comprender su comportamiento dinámico ante cargas sísmicas. Investigaciones previas de Avramidis et al. [25] han destacado la importancia de considerar los periodos de vibración en el diseño de estructuras resistentes a terremotos para garantizar la seguridad de los ocupantes. Además, en un estudio realizado por Kassem et al. [26], se demostró que los periodos de vibración más largos pueden aumentar la vulnerabilidad de las estructuras ante ciertos tipos de movimientos sísmicos.

En esta investigación, en la figura 6 se puede observar el comportamiento de las estructuras analizadas en relación con el periodo de vibración. Los resultados indican que los periodos de vibración se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, lo que significa que las estructuras cumplen con este importante parámetro de diseño. Se puede apreciar que existe una reducción de un alrededor de un 33 % del valor del periodo de la estructura metálicas con el *steel framing*, es decir, este último alcanzó un valor de 0,33 s. Este cumplimiento asegura que las

estructuras tienen una adecuada respuesta dinámica ante cargas sísmicas, contribuyendo a su estabilidad y seguridad. Además, la conformidad con la normativa es crucial para garantizar la integridad estructural y la protección de los ocupantes durante eventos sísmicos.

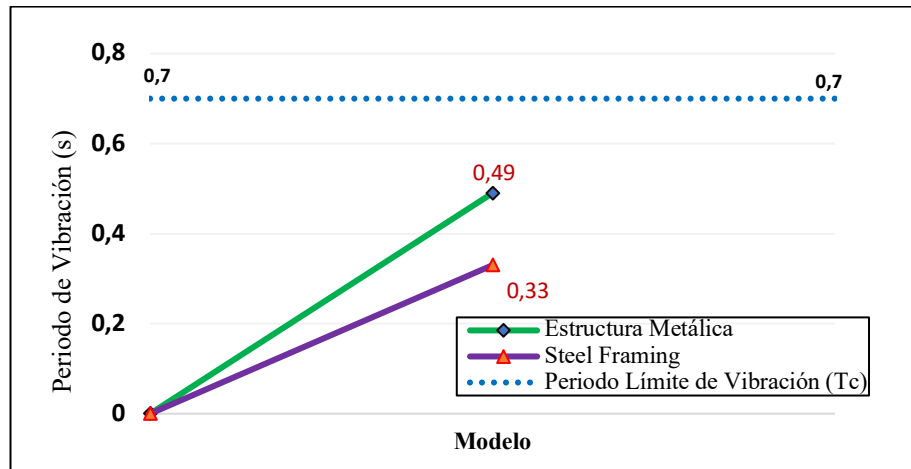


Figura 6. Periodos de vibración del sistema estructural *steel framing* y estructura metálica convencional para vivienda multifamiliar.

3.2 Derivas inelástica de piso.

Otro parámetro fundamental en el diseño estructural, especialmente en el contexto de la resistencia sísmica, son las derivas inelásticas. Según Chopra [27], estas derivas se refieren a los desplazamientos relativos entre pisos adyacentes que ocurren más allá del rango elástico, y son cruciales para comprender la respuesta de las estructuras ante cargas sísmicas. El estándar ASCE/SEI 7-16 [28] proporciona criterios detallados para el diseño sísmico de estructuras, los cuales incluyen la consideración de las derivas inelásticas de piso. La comprensión y evaluación adecuada de estas derivas son esenciales para garantizar la seguridad y el rendimiento de las estructuras en caso de terremotos.

En este documento se proporcionan detalles sobre los valores obtenidos para ambos sistemas estructurales. En el sentido X-X, se observa que los valores de las derivas inelásticas para la estructura metálica muestran un incremento del 22 % al 35 % en comparación con los valores obtenidos para el sistema de *steel framing*. De manera similar, en el sentido Y-Y, las derivas inelásticas fluctúan entre el 32 % y el 59 % en la estructura metálica respecto a las del sistema de *steel framing*. Estos datos se presentan en las figuras 7 y 8, que corresponden a los ejes X-X y Y-Y, respectivamente. Estas figuras muestran datos específicos que ilustran el rendimiento de cada sistema en diferentes direcciones, proporcionando una visión completa de su comportamiento estructural en diferentes condiciones de carga. El análisis detallado de estos valores permite una evaluación exhaustiva de la capacidad de cada sistema para resistir fuerzas tanto en dirección horizontal como vertical, lo que resulta crucial para garantizar la seguridad y estabilidad de la estructura en su conjunto.

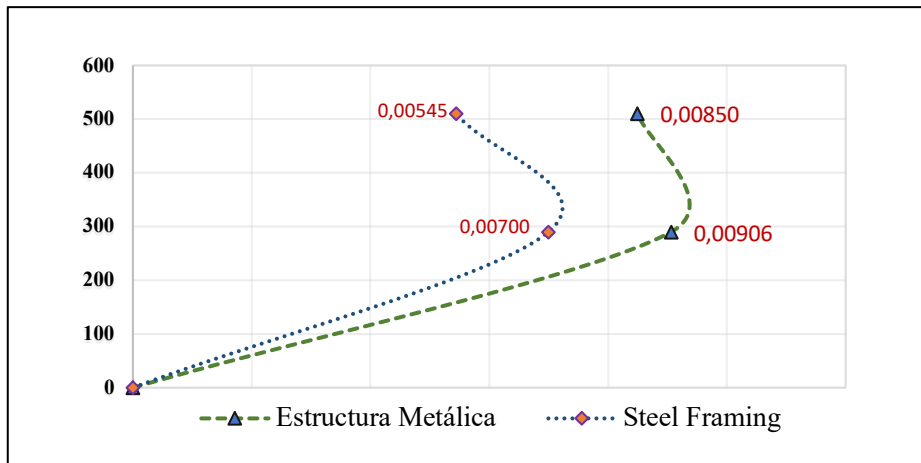


Figura 7. Derivas inelásticas del sistema estructural *steel framing* y estructura metálica convencional para vivienda multifamiliar, sentido X-X.

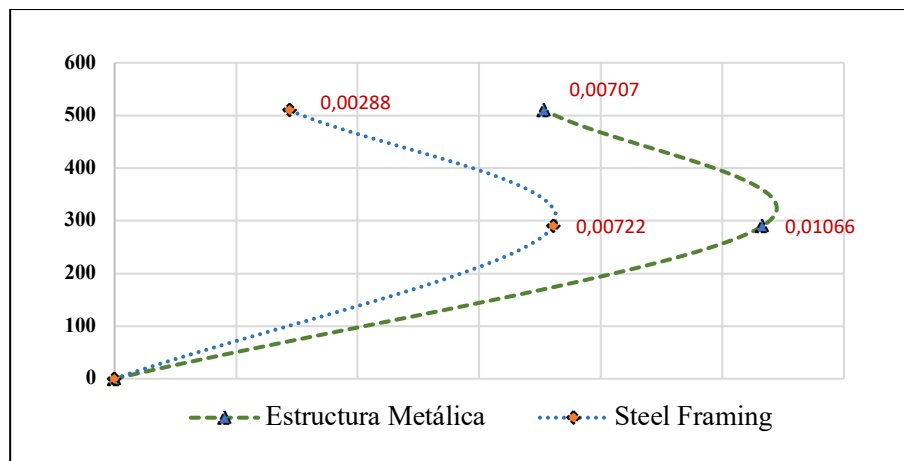


Figura 8. Derivas inelásticas del sistema estructural *steel framing* y estructura metálica convencional para vivienda multifamiliar, sentido Y-Y.

3.3 Cortante basal estático y dinámico.

El cortante basal estático se obtiene utilizando un enfoque simplificado que considera la masa de la estructura y la aceleración sísmica del terreno, ajustada por un factor de reducción sísmica [27]. Este método es adecuado para estructuras regulares y de baja altura debido a su simplicidad y a que proporciona resultados conservadores. Por otro lado, el cortante basal dinámico se calcula considerando las propiedades modales de la estructura y utilizando un espectro de respuesta sísmica, como se indica en la figura 9. Este método permite una evaluación más precisa del comportamiento sísmico de la estructura, ya que toma en cuenta las diferentes formas modales y los periodos de vibración [28].

En el análisis comparativo realizado, se observa que en el sistema de *steel framing* se ha incrementado el valor del cortante basal en aproximadamente un 43 % en comparación con los valores obtenidos para sistemas que utilizan estructuras metálicas tradicionales. Esto sugiere que el sistema de *steel framing* puede tener una respuesta sísmica más intensa debido a su menor factor de reducción sísmica, lo que implica mayores fuerzas internas durante un evento sísmico. Estos

resultados se pueden evidenciar claramente en la figura 10, donde se muestran las diferencias en los valores del cortante basal para ambos sistemas estructurales.

En lo que respecta al cortante basal dinámico, sus resultados se pueden observar en las figuras 11 y 12, para el sentido X-X e Y-Y respectivamente, estos valores indican el fiel cumplimiento de lo indicado por normativa y recomendaciones en lo que se indica que el cortante basal obtenido mediante análisis dinámico debe ser al menos el 80 % del cortante basal obtenido mediante el método estático [12].

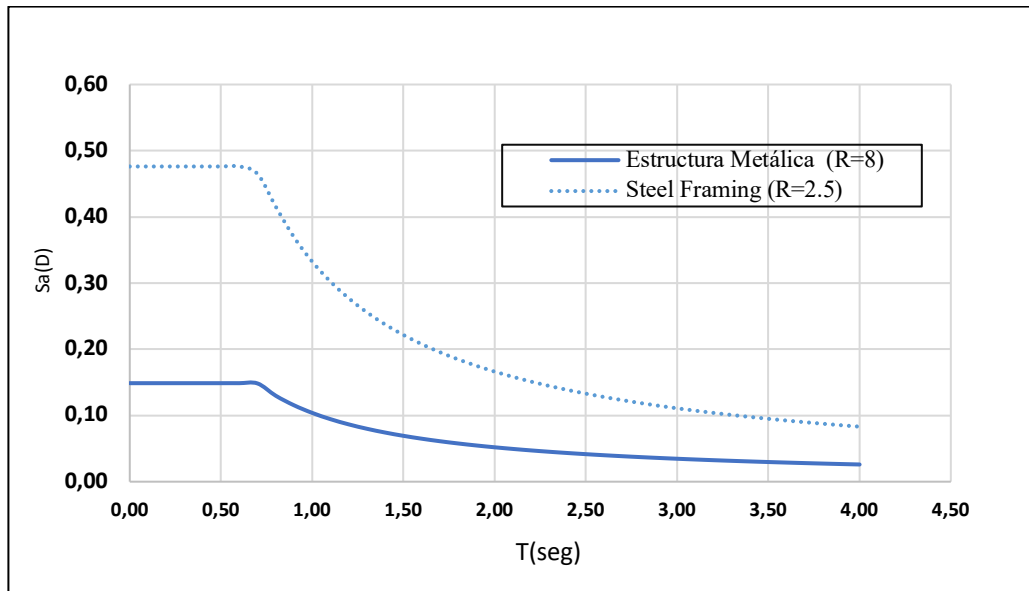


Figura 9. Espectros inelásticos del sistema estructural *steel framing* y estructura metálica convencional para vivienda multifamiliar.

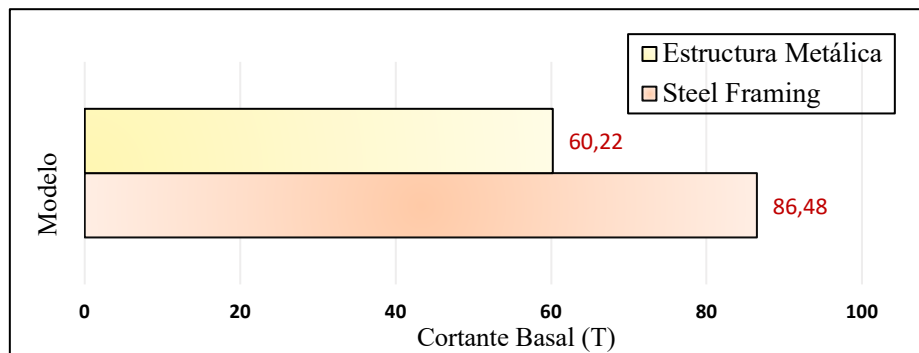


Figura 10. Cortante basal estático del sistema estructural *steel framing* y estructura metálica convencional para vivienda multifamiliar.

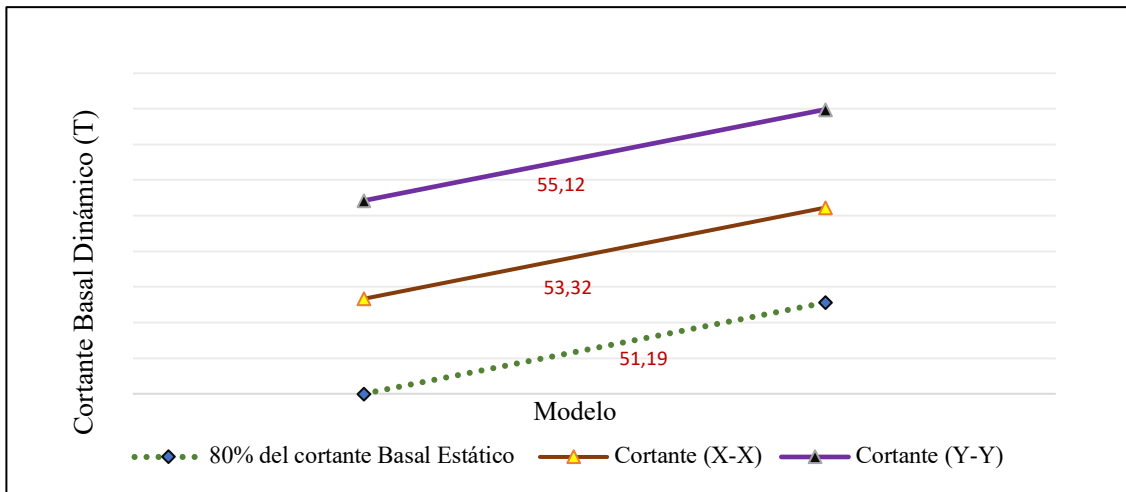


Figura 11. Cortante basal dinámico del sistema estructura metálica convencional para vivienda multifamiliar.

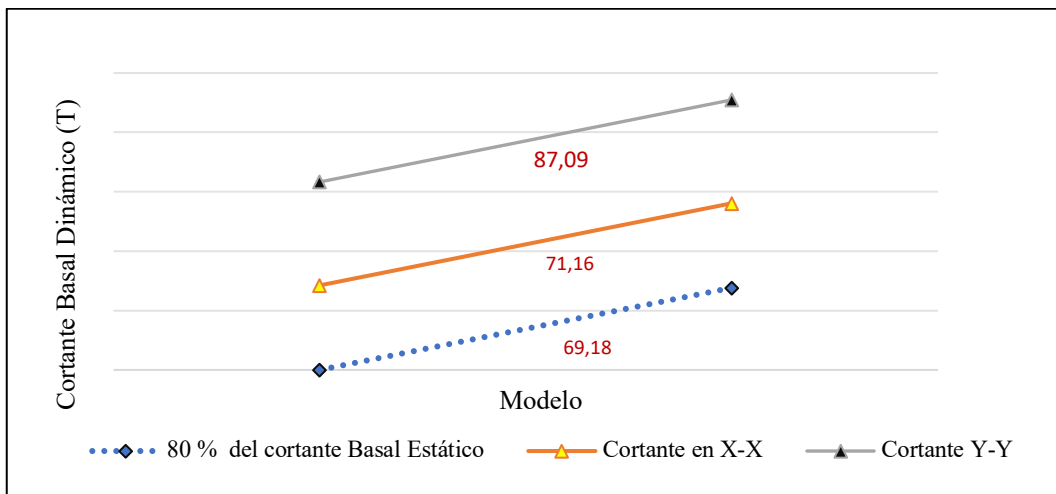


Figura 12. Cortante basal dinámico del sistema *steel framing* para vivienda multifamiliar.

Uno de los datos importantes dentro del campo constructivo corresponde al índice generado entre el peso de la estructura y el área total de la misma. Este índice es un indicador crucial que refleja el comportamiento general de las estructuras, tomando en consideración todos los parámetros indicados en la normativa vigente. Este índice es especialmente relevante porque puede influir significativamente en la respuesta sísmica de las estructuras, así como en aspectos económicos y de sostenibilidad.

Para esta investigación, se evaluaron dos sistemas estructurales diferentes, y se determinó que la vivienda multifamiliar utilizando la estructura convencional resultó ser la más liviana en comparación con el otro sistema analizado. Este resultado sugiere que la estructura convencional tiene un diseño más eficiente en términos de peso, lo que podría implicar menores fuerzas sísmicas actuantes debido a la menor masa total. Estos valores, que proporcionan una visión clara de las diferencias de peso entre los sistemas estructurales evaluados, se pueden observar en la figura 13.

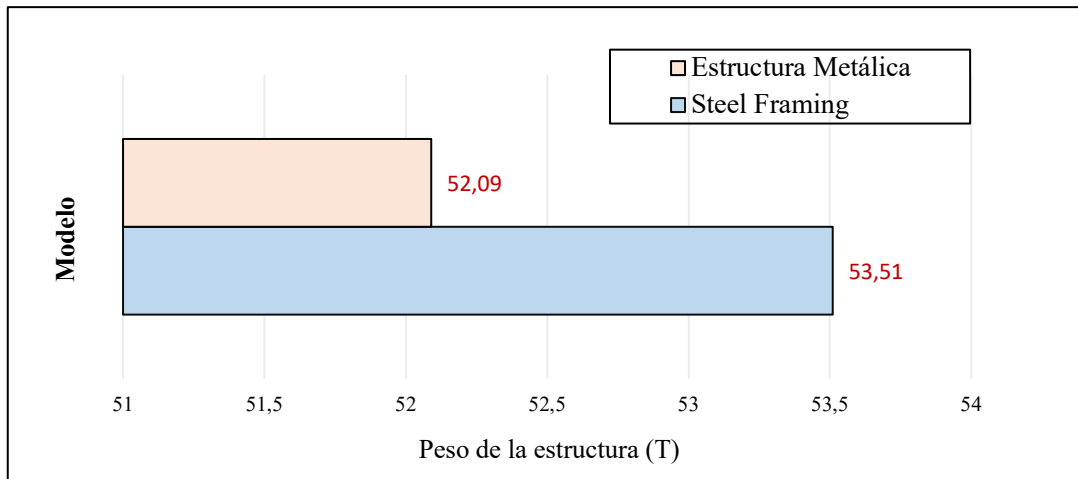


Figura 13. Índice peso sobre área del sistema *steel framing* y estructura metálica convencional para vivienda multifamiliar.

Existen varias investigaciones que utilizan el sistema de steel framing debido a sus ventajas frente a otros sistemas constructivos. Tal como se expone en Maldonado [29], el steel framing ofrece eficiencia, rapidez de construcción, menor peso, resistencia al fuego y menor impacto ambiental, cumpliendo con normativas nacionales e internacionales, lo que lo hace viable en Ecuador. Mientras que Chavez et al. [9] destacan su buen comportamiento sísmico gracias a su menor peso, aunque con baja ductilidad, mejorada por arriostramientos diagonales. Por otro lado, en esta investigación se verificó que ambos sistemas constructivos, steel framing y estructura metálica convencional, cumplen con parámetros normativos y se establece que la elección del sistema puede depender de condiciones económicas y de la rapidez con que se necesite completar el proyecto de vivienda.

4. Conclusiones

Tras la realización de un análisis comparativo de dos sistemas estructurales en lo referente al análisis y diseño sismorresistente, se constató que ambos sistemas cumplen con todos los parámetros normativos. Esto indica que ambos tienen un buen comportamiento ante solicitaciones de tipo vertical y horizontal. Dentro del campo constructivo, se observó una ligera diferencia en el índice de peso sobre área de estructura, lo que sugiere que la elección del sistema estructural más adecuado puede depender de las condiciones económicas del proyecto.

Es importante destacar que los resultados obtenidos corresponden a una arquitectura específica. Para futuros proyectos de investigación, sería recomendable considerar otros tipos de arquitectura, incluyendo configuraciones irregulares en planta y elevación. Esto permitiría verificar cuál sistema es más efectivo en términos de cumplimiento de parámetros de diseño sismorresistente y cuál es más económico, lo cual es fundamental para la planificación y construcción de proyectos.

Además, se recomienda analizar otros tipos de viviendas, tanto multifamiliares como unifamiliares, para observar las tendencias en cuanto a todos los parámetros de diseño sismorresistente. Esto permitiría obtener conclusiones más sólidas respecto al análisis comparativo de dos sistemas que tienen gran acogida dentro del campo de la construcción. De esta manera, se podrían establecer directrices que no solo beneficien el análisis y diseño estructural, sino que también mejoren las prácticas constructivas en nuestro medio.

Contribución de autores: idea y conceptualización, P.G.; metodología, P.G. y M.G.; software, P.G., M.G., J.L., E.C. y C.P.; validación, P.G. y M.G.; investigación, P.G., M.G., J.L., E.C. y C.P.; redacción, P.G. y C.P.; Revisión, P.G.; supervisión, P.G.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- [1] "Comisión Económica para América Latina y el Caribe." Accessed: May 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.cepal.org/es>
- [2] A. Gilbert, "DOCUMENTOS DE TRABAJO PROYECTO CONJUNTO INDES-COMUNIDAD EUROPEA," Sep. 2001.
- [3] G. Lira, "Crece utilización de Steel Framing – Construcción Latinoamericana," Nov. 2018.
- [4] R. Cristina and M. De Crasto, Steel Framing: Arquitectura. 2006. [Online]. Available: www.construccionenacero.com,
- [5] R. Mark Lawson et al., "Durability of light steel framing in residential applications," vol. 2, 2010, doi: 10.1680/coma.2010.163.2.109.
- [6] E. Yandizo, R. M. Lawson, and A. G. Way, "Light Steel Framing in residential construction," SCI P402, 2015.
- [7] I. Jelic and L. Ap, "SE-008 Wood Framing for Residential Construction."
- [8] INCOSE, "MANUAL RECOMENDACIONES PARA CONSTRUIR CON STEEL FRAMING," Jan. 2023. [Online]. Available: www.incose.org.ar
- [9] E. J. Chávez Amaguaña, J. R. Lalangui García, and D. P. Guerrero Cuasapaz, "Análisis técnico entre Steel Framing y Hormigón Armado en estructuras regulares," Green World Journal, vol. 5, no. 1, p. 010, Feb. 2022, doi: 10.53313/gwj51010.
- [10] CSI Spain, "SAP2000," SAP 2000. CSI Spain, 2024. Accessed: May 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.csiespana.com/software/2/sap2000>
- [11] Normativa Ecuatoriana de la Construcción, "CARGAS (NO SÍSMICAS)," Dec. 2014.
- [12] Normativa Ecuatoriana de la Construcción, "CARGAS SÍSMICAS, DISEÑO SISMO RESISTENTE," 2014.
- [13] Z. Peng, S. L. Orton, J. Liu, and Y. Tian, "Experimental Study of Dynamic Progressive Collapse in Flat-Plate Buildings Subjected to an Interior Column Removal," Journal of Structural Engineering, vol. 144, no. 8, p. 04018094, May 2018, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002106.
- [14] P. Ballesteros-Pérez, M. Skitmore, E. Sanz-Ablanedo, and P. Verhoeven, "Forecasting the Number and Distribution of New Bidders for an Upcoming Construction Auction," J Constr Eng Manag, vol. 145, no. 10, p. 04019056, Jul. 2019, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001694.
- [15] I. Instituto de la Construcción en Seco, "Manual de recomendaciones técnicas para la construcción con estructuras de perfiles de acero galvanizado liviano conformados en frío (Steel Framing).," Nov. 2018. [Online]. Available: www.incose.org.ar
- [16] Consul steel, Manual de Procedimiento CONSTRUCCIÓN CON ACERO LIVIANO, ConsulSteel. Accessed: May 25, 2024. [Online]. Available: www.consulsteel.com
- [17] S. M. Shaw, K. Stillmaker, and A. M. Kanvinde, "Seismic Response of Partial-Joint-Penetration Welded Column Splices in Moment-Resisting Frames," 2015.
- [18] M. Izadinia and N. Amini, "Seismic Performance Evaluation of Steel Moment-Resisting Frames Designed According to 3rd and 4th Editions of 2800 Seismic Code," Iranian Journal of Science and Technology – Transactions of Civil Engineering, vol. 44, no. 1, pp. 91–103, Oct. 2020, doi: 10.1007/S40996-020-00429-2/METRICS.
- [19] Warren, R. Dexter, and G. Dimitrios, "Avances en el diseño sísmico de pórticos de acero resistentes a momentos.," Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Geingeniería. Accessed: May 23, 2024. [Online]. Available: <https://cse.umn.edu/cege/events/advancing-seismic-design-steel-moment-resisting-frames>

- [20] H. D. Nguyen, J. M. LaFave, Y. J. Lee, and M. Shin, "Rapid seismic damage-state assessment of steel moment frames using machine learning," *Eng Struct*, vol. 252, p. 113737, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.113737.
- [21] R. G. C. Dannemann, "MANUAL DE INGENIERIA DE STEEL FRAMING (Construcciones Entramadas de Acero) Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero."
- [22] Instituto Americano del hierro y el acero, "Especificación norteamericana para el diseño de miembros estructurales de acero conformados en frío," Jul. 2007.
- [23] R. M. Lawson, R. G. Ogden, and J. W. Rackham, "Steel in Multi-Storey Residential Buildings." Steel Construction Institute, 2004.
- [24] M. Paz and Y. H. Kim, "Structural Dynamics," 2019, doi: 10.1007/978-3-319-94743-3.
- [25] I. Avramidis, A. Athanatopoulou, K. Morfidis, A. Sextos, and A. Giaralis, "Fundamental Principles for the Design of Earthquake-Resistant Structures," *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*, vol. 38, pp. 1–57, Jan. 2016, doi: 10.1007/978-3-319-25270-4_1.
- [26] M. M. Kassem, F. Mohamed Nazri, and E. Noroozinejad Farsangi, "The seismic vulnerability assessment methodologies: A state-of-the-art review," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 4, pp. 849–864, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.ASEJ.2020.04.001.
- [27] A. K. Chopra, *Dinámica de estructuras*, PEARSON., vol. 4. Pearson Education, Inc., 2014.
- [28] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017. doi: 10.1061/9780784414248.
- [29] D. P. Maldonado, "Análisis comparativo técnico de un sistema tradicional versus un sistema estructural Steel Framing para la construcción de viviendas de hasta 2 plantas con luces de hasta 5 metros.," Cuenca, 2023.



© 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>