



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA STEEL FRAMING Y
HORMIGÓN ARMADO CON DIFERENTES CUBIERTAS, EN ESTRUCTURAS
REGULARES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Erik Javier Chávez Amaguaña
Jonnathan René Lalangui García
TUTOR: David Patricio Guerrero Cuasapaz

Quito - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Erik Javier Chávez Amaguaña con documento de identificación N° 1718382235 y Jonnathan René Lalangui García con documento de identificación N° 1725516965; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 25 de enero del 2022

Atentamente,

Erik Javier Chávez Amaguaña

1718382235

Jonnathan René Lalangui García

1725516965

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Erik Javier Chávez Amaguaña con documento de identificación N° 1718382235 y Jonnathan René Lalangui García con documento de identificación N° 1725516965; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Análisis técnico comparativo entre el sistema Steel Framing y Hormigón Armado con diferentes cubiertas, en estructuras regulares ”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 25 de enero del 2022

Atentamente,

Erik Javier Chávez Amaguaña
1718382235

Jonnathan René Lalangui García
1725516965

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, David Patricio Guerrero Cuasapaz con documento de identificación N° 1715215974 ,docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA STEEL FRAMING Y HORMIGÓN ARMADO CON DIFERENTES CUBIERTAS, EN ESTRUCTURAS REGULARES, realizado por Erik Javier Chávez Amaguaña con documento de identificación N° 1718382235 y por Jonnathan René Lalangui García con documento de identificación N° 1725516965, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 25 de enero del 2022

Atentamente,



Ing. David Patricio Guerrero Cuasapaz, MSc

1715215974

ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract	1
1. Introducción	3
2. Materiales y métodos.....	3
2.1. Vista (3D) de los sistemas constructivos	3
2.2. Arquitectura de los modelos	4
2.3. Sistema aporcado de Hormigón Armado.....	6
2.4. Sistema constructivo de Steel Framing.	6
2.4.1. Paneles estructurales	6
2.4.2. Paneles no estructurales	6
2.4.3. Entrepisos.....	6
2.4.4. Cubiertas.....	6
2.5. Parámetros de diseño (Norma AISI)	7
2.5.1. Resistencia al pandeo por flexión.....	7
2.5.2. Vigas de entepiso	7
2.6. Análisis estático lineal (AEL)	8
2.7. Parámetros del cortante basal	8
3. Resultados y Discusión	10
3.1. Peso de la estructura.....	10
3.2. Periodo de vibración	10
3.3. Cortante basal estático.....	11
3.4. Cortante basal dinámico.....	11
3.5. Derivas de piso	12
3.6. Torsión.....	13
3.7. Espectro de diseño	13
4. Conclusiones.....	14
Referencias.....	14

ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA STEEL FRAMING Y HORMIGÓN ARMADO CON DIFERENTES CUBIERTAS, EN ESTRUCTURAS REGULARES

COMPARATIVE TECHNICAL ANALYSIS BETWEEN THE STEEL FRAMING SYSTEM AND REINFORCED CONCRETE WITH DIFFERENT COVERS, IN REGULAR STRUCTURES

Erik Chávez Amaguaña ¹, Jonnathan Lalangui García², David Guerrero Cuasapaz³

Resumen

Se presenta una investigación que tuvo como finalidad evaluar comparativamente doce modelos estructurales con diferentes tipos de cubiertas (dos, cuatro y múltiples aguas), separadas en Hormigón Armado y Steel Framing empleando una herramienta de elementos finitos, mismos que cumplieron con los parámetros sismorresistentes establecidos en la NEC-SE-DS-2015, de los cuales seis modelos se realizaron en Hormigón Armado y la otra mitad con Steel Framing. Comúnmente, predomina en el mercado ecuatoriano las construcciones de Hormigón Armado; datos del INEC dan a conocer que las edificaciones sobrepasan con más del 80 % tanto de uso residencial y comercial, de tal manera, que la investigación realizada se enfocó en una nueva tecnología de construcción denominada Steel Framing que pueda cumplir e incluso superar las mismas demandas del sistema tradicional ante eventos sísmicos. Los resultados obtenidos fueron evaluados mediante gráficas analíticas y comparativas que demostraron que las estructuras de Steel Framing son significativamente más livianas con respecto al Hormigón Armado encontrando una disminución del 94,1 %; lo que influye directamente con los cortantes dinámicos y estáticos, no dispone de mecanismos propios para

Abstract

An investigation is presented that had the purpose of comparatively evaluating twelve structural models with different types of roofs (two, four and multiple waters), separated into Reinforced Concrete and Steel Framing using a finite element tool, which met the seismic resistance parameters established in the NEC-SE-DS-2015, of which six models were made in Reinforced Concrete and the other half with Steel Framing. Commonly, Reinforced Concrete constructions predominate in the Ecuadorian market; INEC data reveal that buildings exceed with more than 80 % both residential and commercial use, so that research done he focused on building a new construction technology called Steel Framing that can meet and even exceed the same demands of the traditional system before seismic events. The results obtained were evaluated through analytical and comparative graphs that showed that Steel Framing structures are significantly lighter with respect to Reinforced Concrete, finding a decrease of 94,1 %; It does not have its own mechanisms to generate plasticizing points, that is, it is a low ductility system, that does not mean that it is a material that does not resist seismic forces since it is a system of reduced mass and high rigidity, due to the fact that they are placed diagonal bracing in the wall panels and this

Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

² Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

³ docente de Ingeniería Civil -Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: echaveza2@est.ups.edu.ec; jlalanguig@est.ups.edu.ec; dguerrero@ups.edu.ec

generar puntos de plastificación, es decir es un sistema de baja ductilidad, eso no significa que sea un material que no resista fuerzas sísmicas ya que es un sistema de masa reducida y de gran rigidez, debido a que se colocan arriostramientos diagonales en los paneles de los muros y esto permite que las oscilaciones de un sismo sean de alta frecuencia en periodos muy bajos. Con referencia a los periodos de vibración se realizó un análisis de vulnerabilidad que expresa el comportamiento indicado que deben cumplir las estructuras el cual no debe sobrepasar el valor de 29, en los modelos de estudio el valor más crítico es de 28,5; concluyendo que las estructuras son adecuadas.

Palabras Clave: cortante estático, cortante dinámica, estructura, Hormigón Armado, Steel Framing.

allows the oscillations of an earthquake to be of high frequency in very low periods. With reference to the vibration periods, a vulnerability analysis was carried out that expresses the indicated behavior that the structures must comply with, which should not exceed the value of 29, in the study models the most critical value is 28,5; concluding that the structures are adequate.

Keywords: Static shear, dynamic shear, structure, Steel Framing, Reinforced Concrete.

1. Introducción

A pesar de ser considerada como una tecnología nueva, el origen del Steel Framing se remonta al inicio del siglo XIX. De hecho, históricamente se inicia con las casas de madera construidas por colonizadores en el territorio norteamericano en esa época. A partir de ahí, las construcciones en madera se convirtieron en la tipología residencial más común en los Estados Unidos, en 1933 producto de un gran desarrollo industrial del acero se lanzó en la feria mundial de la construcción en Chicago, el primer prototipo de una residencia construida a través del Steel Framing que utilizó perfiles de acero en lugar de una estructura de madera [1].

El Steel Framing es utilizado en otros países de América latina como: Colombia y Chile que han sufrido fenómenos naturales a causa de terremotos y han evolucionado en su manera de construir, en nuestro país se pudo observar que frente al desastre del 2016 varias estructuras no cumplían con parámetro alguno de diseño sismorresistente. La finalidad del estudio es dar a conocer un nuevo proceso constructivo que pueda presentar características sismorresistentes que sean adecuadas a fenómenos naturales como lo ocurrido en el año 2016. En lo que respecta al sistema constructivo Steel Framing se puede expresar como un sistema estructural con varias ventajas y beneficios constructivos los cuales son: un sistema estandarizado de tecnología avanzada, alta durabilidad, resistencia, aislamiento térmico, construcción en seco, facilidad de montaje y flexibilidad arquitectónica; debido a que se adapta a proyectos de viviendas unifamiliares hasta construcciones mixtas. Teniendo como un dato referencial a la empresa Ecoliving, expone que el sistema Steel Framing es un 75 % más liviano que el sistema tradicional [2].

Para las modelaciones se utilizó una herramienta de elementos finitos que permite modelar estructuras regulares de Hormigón Armado y Steel Framing. Se evaluó diferentes estructuras con distintos tipos de cubiertas (dos, cuatro y múltiples aguas), analizando el comportamiento de cada sistema constructivo [3] [4].

Mediante la recolección de información que se enfoca en Steel Framing recomienda que el sistema constructivo trabaje con perfiles tipo A, B y C guiados por la normativa ASCE 7-10 que es equivalente a la NEC-SE-DS, 2015; la presente investigación se trabajó con las características del perfil tipo D para generar más seguridad, debido que es el suelo más predominante en el Ecuador, esto se pudo notar gracias al estudio de la Unidad Nacional Metro de Quito (UNMQ) que expone que la ciudad de Quito está compuesta en un 80 % de cangahua (suelo rígido), que es un perfil tipo D. [5] [6] [7].

2. Materiales y métodos

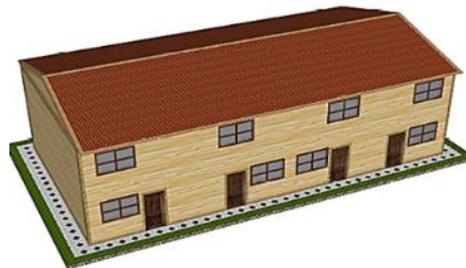
2.1. Vista (3D) de los sistemas constructivos

Se realizó un render de los modelos de estudio como se observa en la figura 1, con la finalidad de mejorar apreciación de las estructuras y cubiertas. Para poder observar las características arquitectónicas de cómo se plasmaría en la realidad.

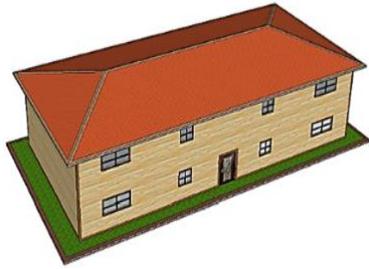
MODELO 1 (2 AGUAS)



MODELO 2 (2 AGUAS)



MODELO 3 (4 AGUAS)



MODELO 4 (4 AGUAS)



MODELO 5 (MÚLTIPLES AGUAS)



MODELO 6 (MÚLTIPLES AGUAS)



Figura 1: Modelos arquitectónicos (vista 3D).

2.2. Arquitectura de los modelos

Se muestra la vista en planta de los modelos de estudio, para una mejor apreciación de luces y cubiertas.

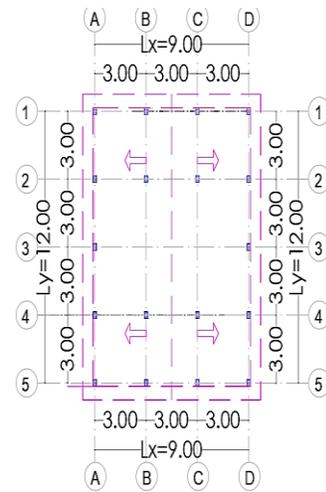


Figura 2: Vista en planta (Modelo 1)

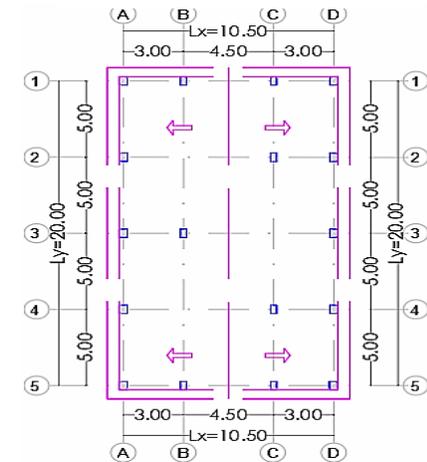


Figura 3: Vista en planta (Modelo 2)

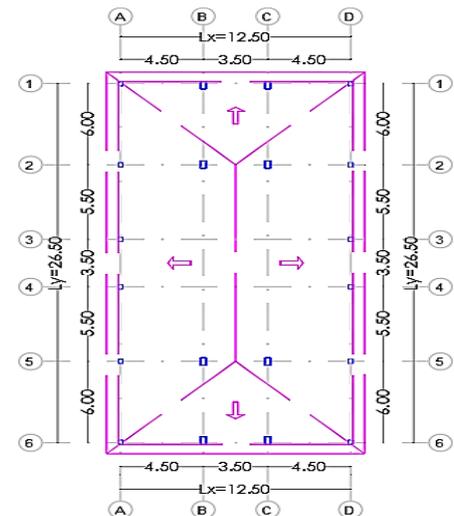


Figura 4: Vista en planta (Modelo 3)

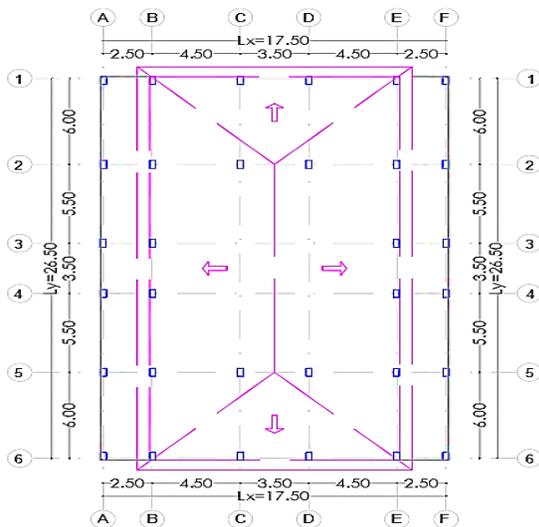


Figura 5: Vista en planta (Modelo 4)

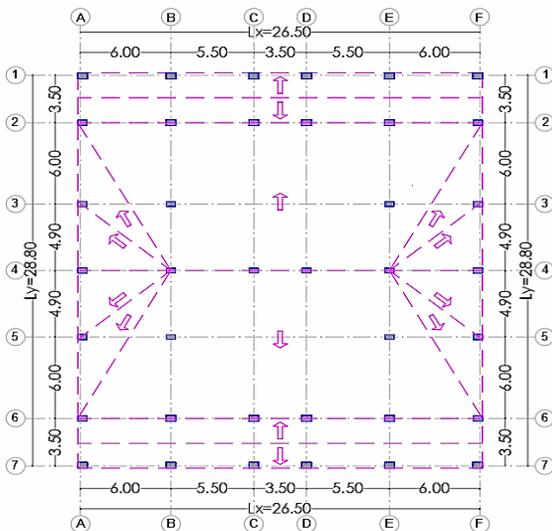


Figura 6: Vista en planta (Modelo 5)

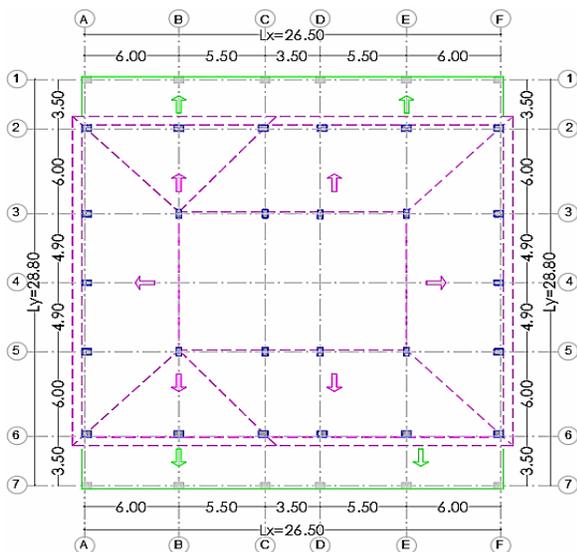


Figura 7: Vista en planta (Modelo 6)

Se analizó seis modelos de viviendas unifamiliares de uno a dos niveles, con diferentes tipos de complejidad en sus cubiertas, áreas y distribuciones arquitectónicas. En la tabla 1 se muestran las características de los modelos estudiados.

Tabla 1: Características de los modelos.

Especificaciones técnicas					
Modelos	Lx (m)	Ly (m)	H (m)	A (m ²)	Cubierta
M1	9,0	12,0	3,8	108,0	2 aguas
M2	10,5	20,0	7,4	210,0	2 aguas
M3	12,5	26,5	7,4	331,3	4 aguas
M4	17,5	26,5	7,4	463,8	4 aguas
M5	26,5	28,8	8,0	763,2	múltiple
M6	26,5	28,8	8,0	763,2	múltiple

Las estructuras que forman parte de la investigación fueron modeladas considerando los materiales que muestra la tabla 2, para el caso del sistema de Hormigón Armado [8].

Tabla 2: Materiales de Hormigón Armado.

Material	Valor
f_c	20,59 [Mpa]
f_y	411,88[Mpa]
γ_{hor}	24000 [N/m ³]
E	$4,7*\sqrt{f_c}$

En la tabla 3 se muestran los materiales que se usó para la modelación del Steel Framing [9].

Tabla 3: Materiales del Steel Framing.

Material	Valor
γ_{ace}	78500 [N/m ³]
f_y	344.74[Mpa]
E	203395.32[Mpa]

Para esta investigación se utilizó los catálogos de la empresa Tugalt tanto con perfilera (G) y (C) para los modelos de Steel Framing. Se realizó prediseños, diseños según la arquitectura y el área del proyecto; tomando en cuenta las características de los materiales y los parámetros normados para la delimitación de los elementos estructurales [10] [11].

2.3. Sistema aporticado de Hormigón Armado.

El sistema aporticado se encuentra conformado por columnas y vigas, a partir de las dimensiones de las mismas; se logran controlar los desplazamientos bajo cargas horizontales cumpliendo los límites permitidos de deriva, usado generalmente en zonas de baja, media y alta sismicidad [12] [13].

2.4. Sistema constructivo de Steel Framing.

Es un sistema constructivo que utiliza perfiles de acero galvanizado, siendo un sistema liviano y resistente. Los marcos de acero galvanizado son un sistema constructivo que han tenidos fuertes demandas después de diversos casos de terremoto como en el caso de Chile en el año 2015

2.4.1. Paneles estructurales

Están sometidos a cargas horizontales de viento y vibraciones sísmicas como igualmente a cargas verticales que son de entresijos, tejados y otros paneles. Por lo tanto, la principal función de los paneles consiste en resistir estos esfuerzos y transmitirlos a sus cimientos. Los paneles están compuestos por una cantidad de elementos de perfiles (G), llamados montantes y elementos horizontales transversales tipo (C) denominados soleras [14].

2.4.2. Paneles no estructurales

No soportan ningún tipo de carga y son utilizados a modo de pared o separación en el lugar requerido para satisfacer la distribución arquitectónica que se le dio a la estructura. Como no soportan carga no necesitan ser rigidizados, es suficiente con el recubrimiento que se le da y en caso de aberturas para puertas y ventanas su configuración es mucho más sencilla, ya que no necesitan dinteles o puntales. En la figura 8 se muestran las partes de un esquema de panel de Steel Framing [15].

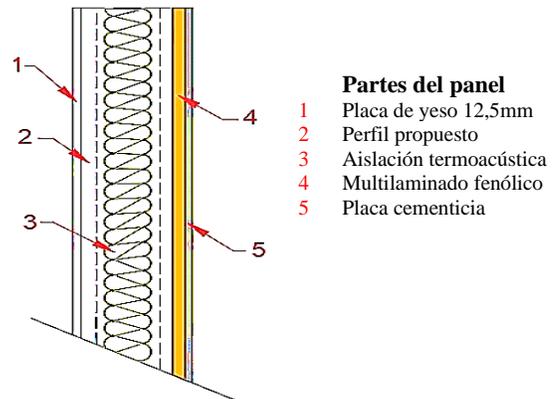


Figura 8: Panel de Steel Framing [5].

2.4.3. Entresijos

El Steel Framing trabaja con dos tipos de entresijo los cuales son entresijo seco y húmedo, por información recopilada en catálogos, manuales, se aprecia que el entresijo seco sobresale en el mercado. Partiendo con ventajas en la que destaca su seguridad, resistente al fuego, hongos y recalando que su principal premisa es ser liviana. En la figura 9 se muestran las partes correspondientes de un esquema de entresijo seco [5] [16].

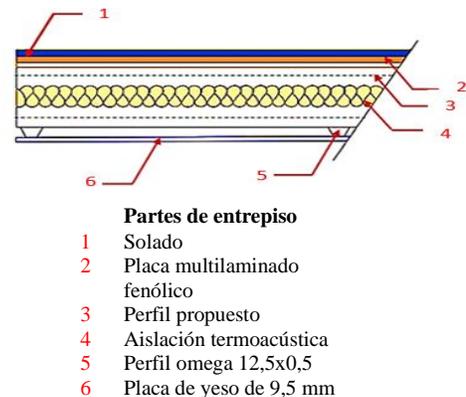
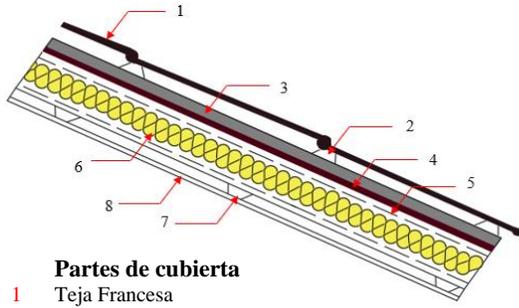


Figura 9: Entresijo seco [5].

2.4.4. Cubiertas

En cuanto al tipo de cubiertas el Steel Framing admite la realización de techos tanto inclinados como planos, en general las cubiertas tienen como concepto principal dividir la estructura en una gran cantidad de elementos de manera que cada uno resista una fracción de la carga total, se observa un esquema de las partes de la cubierta en la figura 10 [17].



- Partes de cubierta**
- 1 Teja Francesa
 - 2 Perfil Omega 22x0,9
 - 3 Perfil Omega 22x0,9
 - 4 Placa multilaminado fenólico
 - 5 Perfil propuesto
 - 6 Aislación termoacústica.
 - 7 Perfil omega 12,5x0,5
 - 8 Placa de yeso de 9,5 mm

Figura 10: Cubierta teja francesa [25].

2.5. Parámetros de diseño (Norma AISI)

Las dimensiones de los perfiles del sistema Steel Framing fueron analizadas en base a diseño; debidamente por normativa (AISI), manuales, seminarios y teoría científica [5] [18] [9].

2.5.1. Resistencia al pandeo por flexión

Lo descrito en las ecuaciones 1 a 8, se utilizó para encontrar ciertos parámetros de diseño de montantes para la obtención de la tensión por pandeo elástico crítico [18].

Determinación de la esbeltez

$$\lambda = \frac{\pi^2 \times L}{r} \quad (1)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (2)$$

Análisis por pandeo flexional

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F'_y}{F_e}} \quad (3)$$

$$\lambda_c > 1.5 \quad F_n = \left(\frac{0.877}{\lambda c^2}\right) F'_y \quad (4)$$

$$\lambda_c \leq 1.5 \quad F_n = (0.658 \lambda c^2) F'_y \quad (5)$$

Verificación por pandeo

$$\rho = 1 \quad \text{donde } \lambda \leq 0.673 \quad (6)$$

$$\rho = \left(1 - \frac{0.22}{\lambda}\right) \lambda \quad \text{donde } \lambda > 0.673 \quad (7)$$

Tensión de pandeo elástico crítico

$$F_{cre} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{w}\right)^2 \quad (8)$$

Donde

- L: Longitud.
- r: Radio de giro pandeo elástico crítico (flexión).
- Fe: Tensión de pandeo elástico por flexión
- F'y: Esfuerzo de fluencia.
- E: Módulo de elasticidad.
- μ: Coeficiente de poisson del acero.
- λ, λc: Factor de esbeltez.
- ρ: Factor de reducción local.
- Fcre: Esfuerzo de pandeo elástico crítico.
- Fn: Esfuerzo de compresión.
- ρ: Factor de reducción local.
- k: Tensión crítica.

2.5.2. Vigas de entrepiso

En la figura 11 se observa el diagrama de cargas del perfil G, en base a los esfuerzos de compresión que actúan sobre el elemento plano; con lo descrito de la ecuación 9 a 20 hasta llegar a obtener el esfuerzo de pandeo de las vigas [18].

Sección de labio a compresión

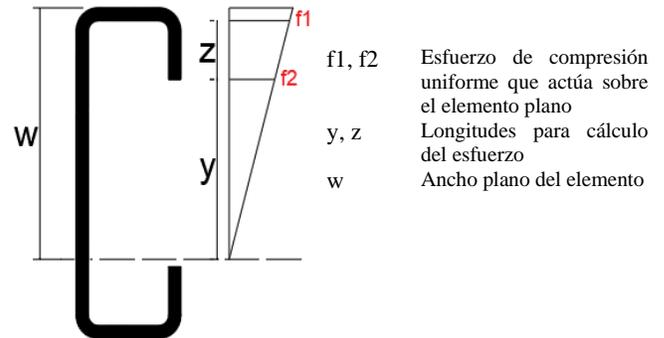


Figura 11: Gráfica de esfuerzos [21].

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}} \quad (9)$$

$$\psi = \frac{f_2}{f_1} \quad (10)$$

$$k = \frac{0.578}{\Psi + 0.34} \quad (11)$$

Sección efectiva de ala ha compresión

$$I_s = \frac{t \times d^3}{12} \quad (12)$$

Se cálculo la inercia adecuada de la pestaña de borde para que el ala se comporte como elemento atiesado.

$$I_a = 399t^4 \left(\frac{w/t}{S} - 0.328 \right)^3 \quad (13)$$

$$I_a \leq t^4 \left(115 \frac{w/t}{S} + 5 \right) \quad (14)$$

Para esto se debe evaluar los siguientes parámetros:

$$S = 1.28 \sqrt{\frac{E}{f}} \quad (15)$$

$$R_I = \frac{I_s}{I_a} \leq 1 \quad (16)$$

$$k = \left(4.82 - 5 \frac{D}{w} \right) R^n + 0.43 \quad (17)$$

$$0.25 < \frac{D}{w} \leq 0.8$$

$$k = 3.57R^n + 0.43 \leq 41 \quad (18)$$

$$\frac{D}{w} \leq 0.25$$

Donde

$$n = \left(0.582 - \frac{w/t}{4S} \right) \geq \frac{1}{3} \quad (19)$$

Con los parámetros evaluados se calculó el esfuerzo de pandeo.

$$F_e = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2 \quad (20)$$

Donde

- w: Ancho plano de la pestaña
- t: Espesor.
- Fe: Esfuerzo de pandeo.
- F'y: Esfuerzo de fluencia.
- μ: Coeficiente de poisson del acero.
- E: Modulo de elasticidad.
- λ: Factor de esbeltez.
- k: Tensión crítica.
- Is: Inercia de la pestaña con respecto a un eje paralelo.
- Ia: Momento de inercia adecuado del rigidizador.
- f: Tensión en compresión de la brida
- d: Profundidad de la sección transversal
- Ψ: f2/f1.
- S: 1,28 √E/f.
- RI: Is/Ia.
- Rn: Esfuerzo nominal.
- n: Coeficiente.
- D: Profundidad total del labio [18]

2.6. Análisis estático lineal (AEL)

En el AEL influyen varios parámetros a ser controlados, como son: modos de vibración y derivas inelásticas; donde es necesario asegurar que la estructura no genere desplazamientos excesivos de acuerdo como indica la normativa [19].

Los dos primeros modos de vibración deben ser estrictamente traslacionales en sentido “x-x” y “y-y”; de esta forma se puede concluir que en los modelos no existe torsión, presentando modos de vibración adecuados que al momento del sismo no se presenta un colapso estructural [8] [9].

2.7. Parámetros del cortante basal

En la tabla 4 se expresan la simbología de cálculo del cortante basal aplicada para cada sistema constructivo. Como constante los dos sistemas constructivos trabajan con el mismo tipo de suelo (D) y la misma zonificación sísmica (V) [19] [20].

Tabla 4: Parámetros que interviene en el cálculo del cortante basal.

Parámetro	Simbología
Factor de aceleración de la zona	Z
Factor de sitio F_a	F_a
Factor de sitio F_d	F_d
Factor comportamiento inelástico del suelo	F_s
Factor asociado a la ubicación geográfica	r
Relación de amplificación espectral	η
Aceleración en $T=T_0$	$S_a[g]$
Período Límite en $T=T_c$	$T_c[s]$
Coefficiente C_t	C_t
Coefficiente para cálculo del período	α
Factor de reducción de fuerzas sísmicas	R
Coefficiente de configuración en planta	\emptyset_P
Coefficiente de configuración en elevación	\emptyset_E

En la tabla 5, se expresan los valores de cálculo del cortante basal aplicado para los sistemas constructivos [19] [20].

Tabla 5: Parámetros de cortante basal.

Simbología	Hormigón Armado		Steel Framing
Modelos	M1	M2-M6	M1-M6
Z	0,40	0,40	0,40
F_a	1,2	1,2	1,2
F_d	1,19	1,19	1,19
F_s	1,28	1,28	1,28
r	1	1	1
η	2,48	2,48	2,48
$S_a[g]$	1,19	1,19	1,19
$T_c[s]$	0,7	0,7	0,7
C_t	0,055	0,055	0,073
α	0,9	0,9	0,75
R	3	5	2,5
\emptyset_P	1	1	1
\emptyset_E	1	1	1

Los elementos estructurales dependen del tipo de cubierta (dos, cuatro y múltiples aguas), tipo de carga, luces y nivel de la estructura. Las secciones en el Hormigón Armado y Steel Framing fueron variando dependiendo de la dificultad de los modelos arquitectónicos y características de diseño como se observa en la tabla 1. En la tabla 6 se observa las secciones usadas para el sistema constructivo de hormigón armado.

Tabla 6: Secciones críticas del sistema del Hormigón Armado

Modelos	# Pisos	Columnas (cm)	V. Central (cm)	V. Borde (cm)
M1	1P	30x40	25x30	30x40
	2P	40x55	30x40	35x45
M2	1P	40x55	35x50	35x45
	2P	40x60	35x45	40x50
M3	1P	40x60	35x50	40x50
	2P	40x60	40x50	40x50
M4	1P	40x60	35x50	40x50
	2P	45x65	40x55	40x55
M5	1P	45x65	40x55	40x50
	2P	45x60	35x50	40x50
M6	1P	45x60	40x55	40x55

Como se observa en la tabla 6, se muestran las secciones con mayor área que predomina en cada modelo de Hormigón Armado, esto se puede explicar en base a la normativa NEC-SE-VIVIENDA, explica que para viviendas de dos pisos las luces no deben sobrepasar la luz máxima de 4 m y su altura máxima de entrepiso no debe pasar de 2,5 m para obtener secciones optimas. En base a las características de los modelos de estudio se observan luces de eje a eje de gran longitud, altura de entrepiso mayor de 2,5 m lo que determino a diseñar secciones de mayor área que cumplan con parámetros sismorresistentes.

En la tabla 7 se observa las secciones usadas para el sistema constructivo de Steel Framing.

Tabla 7: Secciones críticas del sistema Steel Framing

Modelos	# Pisos	Montantes Tipo (mm)	V. Central Tipo (mm)	V. Borde Tipo (mm)
M1	1P	G150x1,64	C150x1,64	C150x1,64
	2P	G200x1,64	C200x1,64	C200x1,64
M2	1P	G200x1,64	C200x1,64	C200x1,64
	2P	G200x1,64	C200x1,64	C200x1,64
M3	1P	G200x1,64	C200x1,64	C200x1,64
	2P	G200x1,64	C200x1,64	C200x1,64
M4	1P	G200x1,64	C200x1,64	C200x1,64
	2P	G200x1,64	C200x1,64	C200x1,64
M5	1P	G200x1,64	C150x1,64	C200x1,64
	2P	G200x1,64	C200x1,64	C200x1,64
M6	1P	G200x1,64	C200x1,64	C200x1,64

Otro factor que involucra el tamaño de secciones en ambos sistemas constructivos es el factor de reducción de resistencia sísmica (R), para estructuras

en Steel Framing es 2,5 y para hormigón armado es 5 siendo valores pequeños, al realizar un análisis sismorresistente involucra que las secciones crezcan debido a las acciones sísmicas.

3. Resultados y Discusión

En los modelos de estudio se realizó un análisis comparativo, bajo las condiciones sismorresistentes obteniendo los siguientes resultados.

3.1. Peso de la estructura

En la figura 12, muestra el peso total de las estructuras de los sistemas constructivos siendo predominante el Hormigón Armado.

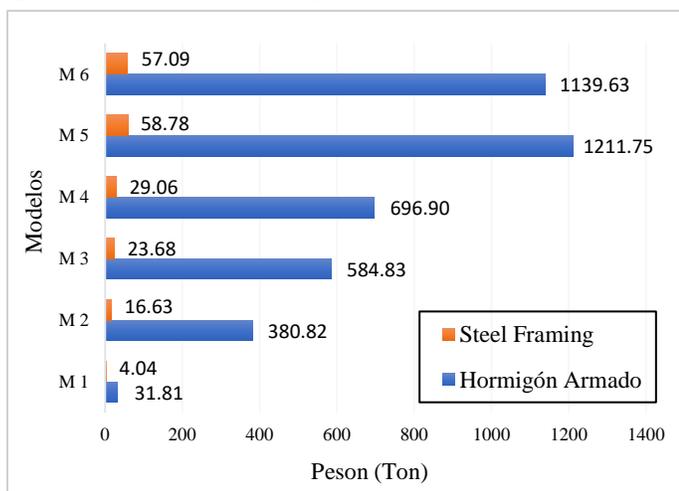


Figura 12: Peso estructural entre ambos sistemas constructivos

Con respecto a las estructuras de Steel Framing se muestra los porcentajes del peso total con respecto a las estructuras de Hormigón Armado como se observa en la tabla 8.

Tabla 8: Porcentajes de peso total de Steel Framing con respecto al Hormigón Armado.

Modelos	Porcentaje
M6	5,01
M5	4,85
M4	4,17
M3	4,05
M2	4,37
M1	12,70

Se encontró un valor promedio de 5,9 % de los, modelos de Steel Framing con respecto al Hormigón Armado con una disminución del 94,1 % del peso total de las estructuras. Demostrando que las

estructuras modeladas en base al Steel Framing son significativamente livianas, dependiendo del tipo de entrepiso, cubierta y paneles empleados [21].

3.2. Periodo de vibración

Se obtuvo a través de una herramienta de elementos finitos los periodos de vibración de las diferentes modelaciones para los sistemas de estudio, como se observa en la figura 13; los cuales cumplieron con la condición de estar por debajo del periodo límite de vibración (T_c) [3].

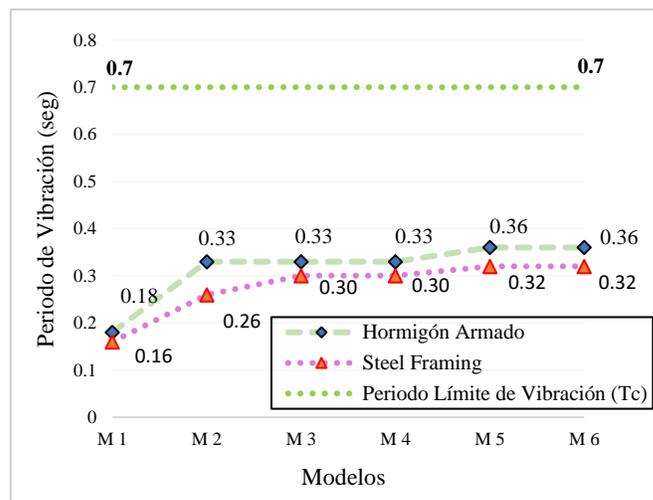


Figura 13: Periodo de vibración entre ambos sistemas constructivos

La vulnerabilidad en base a los periodos de vibración es un estudio experimental a partir de la relación (H/T), que explica una forma alternativa de colapso o daño estructural. el artículo presente considero el estudio de Cevallos [22], para observar el comportamiento del sistema constructivo Steel Framing, debido a que sus periodos de vibración son bajos a diferencia del Hormigón Armado y verificar si puede cumplir los rangos que expresa la tabla 9.

Donde (H) es la altura total de la estructura y la (T) el periodo de vibración.

Tabla 9: Relación H/T .

<17	Probable colapso
18-29	Comportamiento intermedio
30	Daño moderado o leve

La tabla 10 muestra los resultados de los sistemas constructivos en base a la relación (H/T).

Tabla 10: Valores H/T.

Modelos	T (seg)		H (m)	H/T	
	HA	SF		HA	SF
M 1	0,18	0,16	3,8	21,1	23,8
M 2	0,33	0,26	7,4	22,4	28,5
M 3	0,33	0,30	7,4	22,4	24,7
M 4	0,33	0,30	7,4	22,5	24,8
M 5	0,36	0,32	8,0	22,2	25,0
M 6	0,36	0,32	8,0	22,2	25,0

A partir de los resultados que presenta la tabla 10 se concluyó que los modelos de estudio se encuentran en un rango (comportamiento indicado); este estudio experimental se puede utilizar como un parámetro para determinar la suficiencia de un diseño sismorresistente

3.3. Cortante basal estático

El cortante basal estático depende directamente del peso de la edificación esto significa que a menor peso se obtiene un menor impacto frente a un fenómeno sísmico, como se observa en la figura 14 los resultados del cortante basal estático favorecen al sistema constructivo Steel Framing [19] [8].

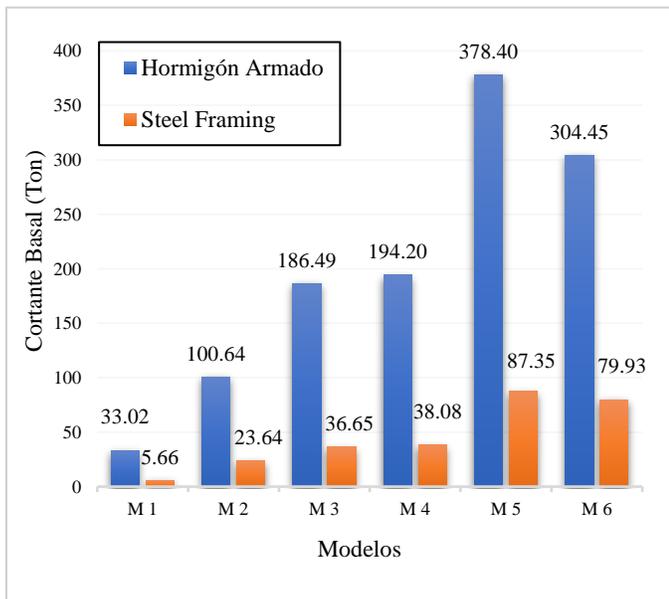


Figura 14: Cortante basal estático entre ambos sistemas constructivos.

3.4. Cortante basal dinámico

En la figura 15-16 se observan los resultados que se obtuvieron para el chequeo de cortante basal dinámico del sistema Hormigón Armado en los sentidos “x-x” y “y-y” [19].

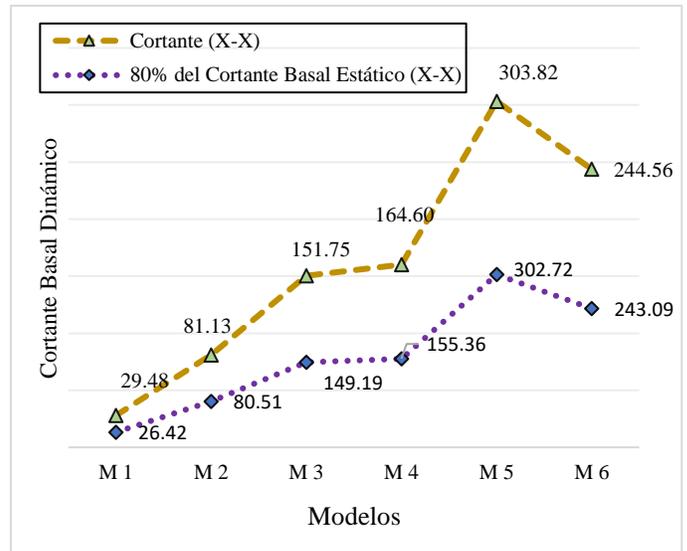


Figura 15: Cortante basal dinámico del Hormigón Armado (X-X).

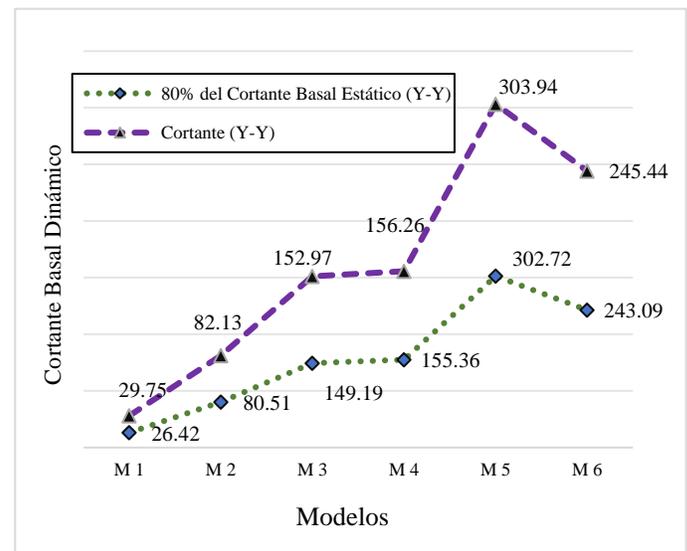


Figura 16: Cortante basal dinámico del Hormigón Armado (Y-Y).

En la figura 17-18, se procedió a realizar un chequeo de cortante basal dinámico del sistema Steel Framing en los sentidos “x-x” y “y-y”. Asegurando lo que explica la normativa que no debe ser menor que el 80 % del cortante basal estático, calculado en estructuras regulares [19].

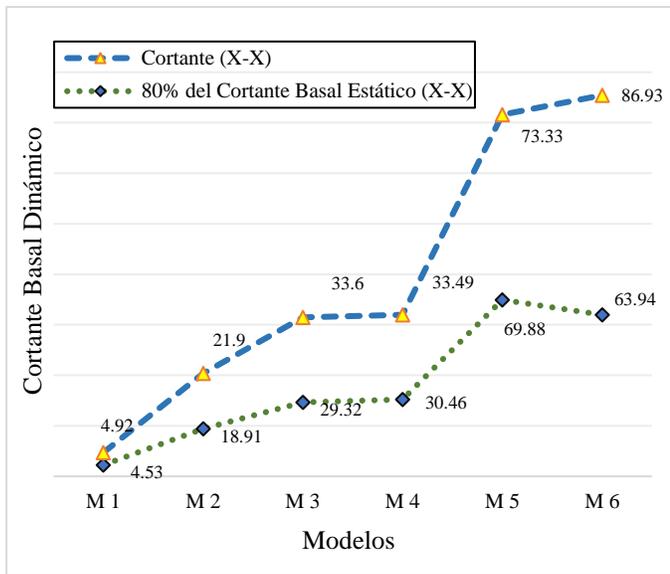


Figura 17: Cortante basal dinámico del Steel Framing (X-X).

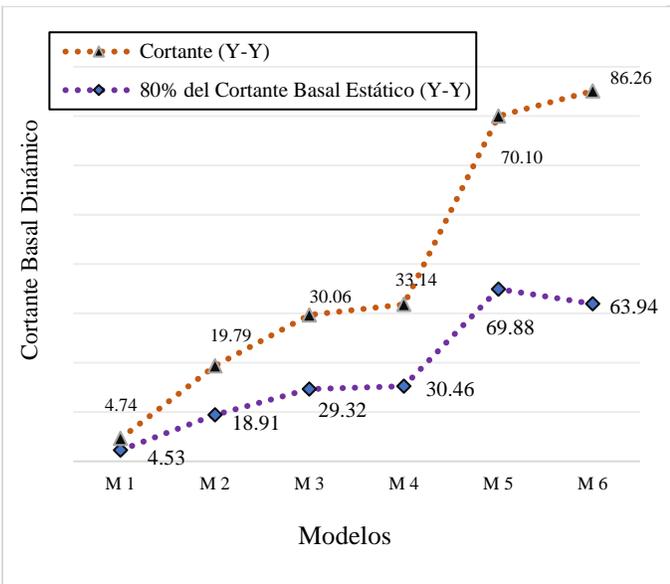


Figura 168: Cortante basal dinámico del Steel Framing (Y-Y).

3.5. Derivas de piso

Con los resultados obtenidos en las figuras 19 y 22 entre los dos sistemas constructivos se observó que los valores máximos se encuentran en el modelo 5, el Hormigón Armado obtuvo valores en “x-x”, “y-y” de 0,00375 y 0,00377 respectivamente ; el Steel Framing presentó valores en “x-x”, “y-y” de 0,00580 y 0,00989 cumpliendo con las derivas máximas inelásticas expresados por la norma, la que expresa que el valor máximo permitido es de 0,02; lo que garantiza que las estructuras pueden soportar vibraciones por cargas laterales expuestas [8] [19].

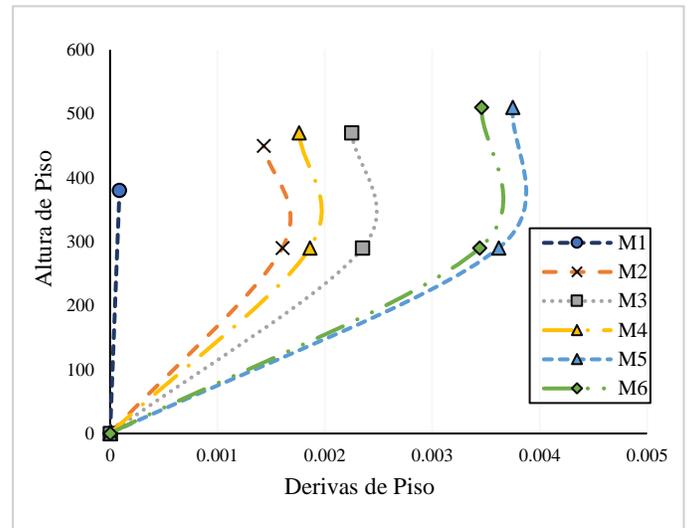


Figura 1917: Derivas de Hormigón Armado en sentido x-x.

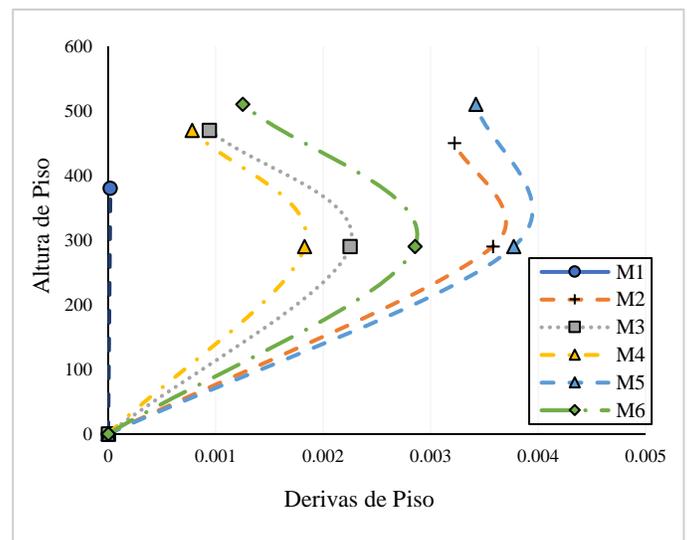


Figura 20: Derivas de Hormigón Armado en sentido y-y.

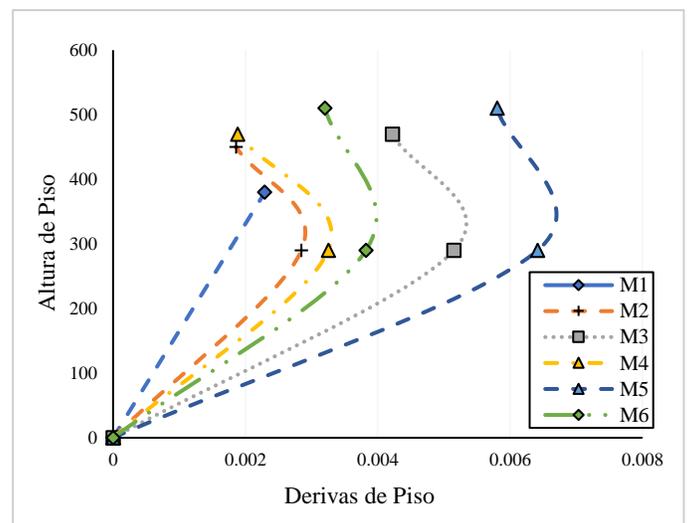


Figura 2118: Derivas de Steel Framing en sentido x-x.

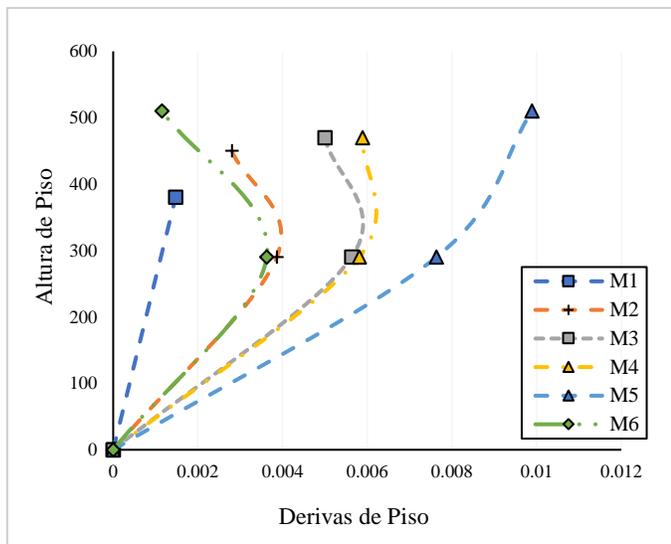


Figura 22: Derivas de Steel Framing en sentido y-y.

3.6. Torsión

En el Hormigón Armado y en el Steel Framing se realizó un chequeo en los dos primeros modos como se observa en las figuras 23 y 24. Dando como resultado traslación, de esta forma se puede concluir que no existen torsión, presentando modos adecuados que al momento del sismo no se presenta un colapso estructural [8] [9].

Cuando las estructuras presentan irregularidades pueden complicar el panorama de la torsión por lo que se debe asegurar que no excede el 10 % en los dos primeros modos, en caso que se supere este porcentaje deberá tomarse medidas correctivas en el planteamiento de las estructuras. Como se observa en la figura 15 y 16 de ambos métodos constructivos se garantizó la estabilidad de la estructura. [23] [24]

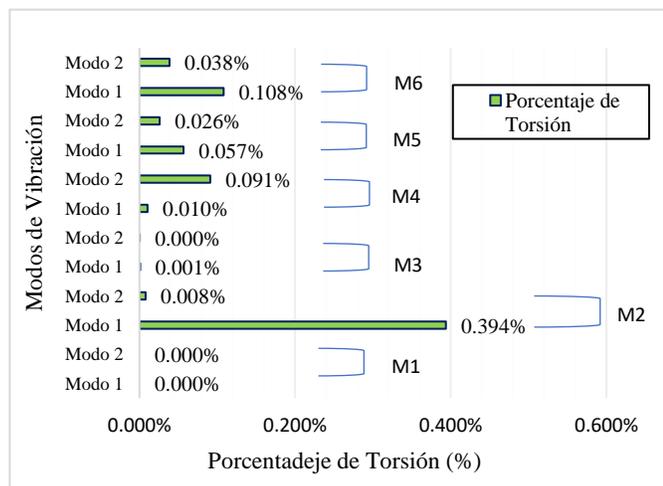


Figura 23: Torsión (Hormigón Armado).

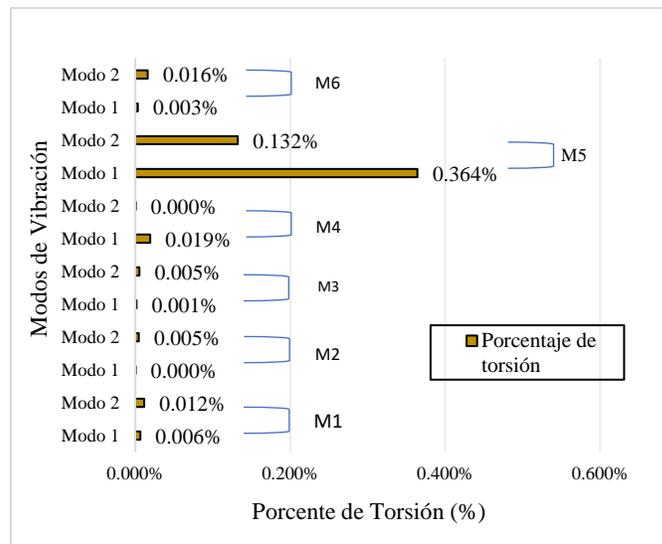


Figura 24: Torsión (Steel Framing).

3.7. Espectro de diseño

Se muestran las curvas de espectro de diseño inelástico en la figura 25 de los modelos 1 a 6, las cuales fueron utilizadas en los modelos de estudio, se puede apreciar la diferencia de las curvas de espectro de diseño, debido a la ductilidad de cada uno de los sistemas constructivos por diferente tipología y distinto comportamiento. En ambos sistemas constructivos el espectro de diseño elástico es el mismo, ya que ningún factor es afectado, por lo contrario, el espectro inelástico cambia debida que las estructuras de Steel Framing tiene un factor de reducción de resistencia sísmica (R) bajo (2,5) a diferencia del Hormigón Armado de un valor de (5)[19].

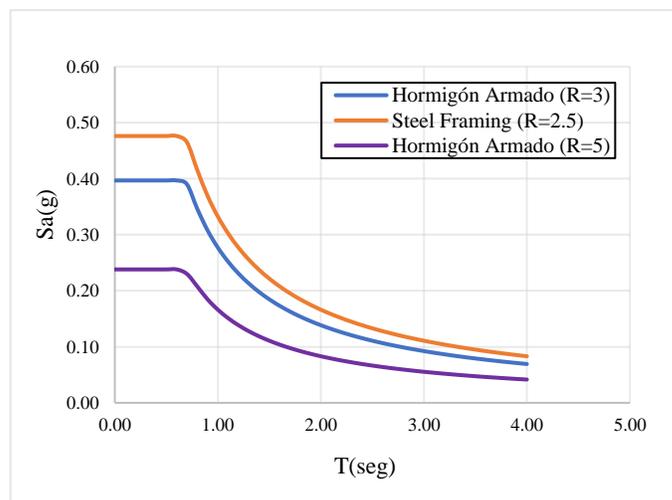


Figura 25: Comparación de espectros inelásticos.

Los resultados obtenidos en base a parámetros sísmicos son adecuados y favorables, que coinciden con las investigaciones de Lucero, [14] , Cáceres [21] y Morocho [15]. Por otra parte, no existe contradicciones específicas sobre los aspectos sísmicos del Steel Framing en parámetros de modelación en cubiertas a lo que se enfoca esta investigación, debido a que es un sistema constructivo nuevo y puede trabajar con distintos tipos de configuraciones de cubierta sin que genere inconvenientes en la estructura.

4. Conclusiones

Tras el análisis y evaluación de los sistemas constructivos mediante resultados comparativos se pudo observar que los dos sistemas son rígidos, el Steel Framing al tener un factor de reducción de resistencia sísmica ($R=2.5$) tiene mayores fuerzas sísmicas, pero al tener menor peso en comparación del Hormigón Armado tiene un buen comportamiento sísmico.

Además, el Steel Framing, es un sistema que no dispone de mecanismos propios para generar puntos de plastificación, es decir es un sistema de baja ductilidad, debido a que se instalan arriostramientos diagonales en los paneles de los muros, esto permite que las oscilaciones de un sismo sean de alta frecuencia o de periodos muy bajos, de manera que, los desplazamientos del suelo en la edificación se ven forzados a vibrar en alta frecuencia y con movimientos laterales de pocos milímetros.

Adicionalmente se pudo observar durante la investigación que, mediante el uso de la herramienta de elementos finitos, el Steel Framing es adaptable a cualquier tipo de arquitectura y tipo de suelo. Asimismo, el sistema constructivo conformado en frío no presenta mayor afectación por cargas de viento debido una baja velocidad del viento por ser analizado con propiedades de viento del Ecuador.

Referencias

[1] Casas Premier, «Steel Framing : Mas de 300 años de historia,» 16 02 2021. [En línea]. Available:

<https://www.casaspremier.com.ar/noticias/steel-framing-mas-de-300-anos-de-historia>. [Último acceso: 09 10 2021].

- [2] Ecoliving, «Casas de Steel Framing,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.ecolivegrec.com/contacto>.
- [3] SAP2000, Structural and Earthquake Engineering Software, 2018.
- [4] E. Hernández, «Manual de Aplicación del Programa SAP2000 v14,» CSI, Computer and Structures,, Madrid, 2010.
- [5] R. G. Dannemann . C, «Manual de Ingeniería de Steel Framing,» Asociación Latinoamericana del Acero , Las condes , 2007.
- [6] D. A. Verduga Garcia, «Diseño de las modificaciones de los elementos estructurales del sistema Steel Framing para las condiciones de sismicidad y características de suelo de la ciudad de Manta,» Manta, 2016.
- [7] Unidad Metro de Quito, «Las características del suelo facilitan la construcción del sistema metro,» El Comercio, 2 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/caracteristicas-del-suelo-facilitan-construccion.html>. [Último acceso: 14 Febrero 2012].
- [8] E. Chavez, Interviewee, Diseño de Estructuras Sismoresistentes en Hormigón Armado. [Entrevista]. 1 Marzo 2021.
- [9] E. Machado , Interviewee, Curso SAP 200 Steel Framing. [Entrevista]. 2017.

- [10] Tugalt, TUGALT El futuro se construye con acero, Cumbaya, 2015.
- [11] A. Viteri, Interviewee, Experiencias y proyectos con Steel Framing. [Entrevista]. 28 Enero 2021.
- [12] J. C. McCormac y R. H. Brown, Diseño de Concreto Reforzado, Decima ed., Mexico: Alfaomega, 2017, p. 664.
- [13] T. A. Amtamba Rivas y J. F. Cuical Quelal, «Análisis comparativo del comportamiento estructural de una edificación de 6 y 16 pisos implementando losas con paneles de tecnología M2 frente a losas con placa cooperante,» Quito, 2018.
- [14] D. E. Lucero Castro, «Diseño de una vivienda del programa Casa Para Todos en sistema "Steel Framing" y análisis comparativo económico con sistema de construcción tradicional.,» Quito, 2019.
- [15] N. S. Morocho Narváez, «Análisis comparativo y constructivo de una edificación de cuatro pisos entre el sistema Steel Framing , el Hormigon Armado y la Estructura Metálica,» Sangolquí, 2020.
- [16] ConsulSteel, «Soluciones para construcción en seco,» Manual de apoyo Steel Frame, p. 35, 2016.
- [17] C. F. Haro Rubio , «Sistema constructivo aplicado para la construcción de viviendas de interés en la provincia del Guayas,» Samborondón , 2015.
- [18] AISI Atandard, «Especificacion especificación norteamericana de miembros estructurales de acero conformado en frío,» p. 505, 2016.
- [19] Norma Ecuatoriana de la Contruccion, «Peligro sísmico,» NEC-SE-DS, p. 148, 2015.
- [20] Norma Ecuatoriana de la Construcción, «Vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m,» NEC-SE-VIVIENDA, p. 152, 2015.
- [21] C. A. Cáceres Gaibor , «Análisis comparativo técnico-económico de un sistema tradicional aporticado y un sistema estructural liviano para la construcción de viviendas.,» Quito, 2018.
- [22] A. Cevallos, «Vulnerabilidad de estructuras en base a los periodos de vibración,» Researchgate, p. 4, Junio 2018.
- [23] Organizacion Munidal de la Salud, «Fundamentos para la mitigacion de desastres en establecimientos de salud.,» Washington, 200.
- [24] MIDUVI, «Manual para la Regulación de Procesos Constructivos,» THAMIA imagen, Quito, 2019.
- [25] A. M. Sarmanho Freitas y R. C. Moraes Castro, «Steel Framing Arquitectura,» Alacero, Santiago, 2007.