

Social Economic Housing: Steel Frame in the rural area of Cajamarca.

Luis Antonio Focón Colina, Ing.¹, Peter Esrom Vigo Intor, Ing.², Lizbeth Milagros Merma Gallardo, Mg.³ 

^{1,3}Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00023187@upn.pe, lizbeth.merma@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00037346@upn.pe

Abstract– The general objective of this investigation was to determine if the Steel Frame construction system is economical, sustainable and feasible for housing in the rural area of the city of Cajamarca. The research corresponds to the applied type, with a non-experimental, cross-sectional and descriptive design. As a population, the rural area of the city of Cajamarca was taken and a 200 m² plot of land was taken as a sample. For the research development, a house was designed that meets the minimum architectural requirements, to then be structurally analyzed through mathematical modeling, and finally, with the analysis of unit prices, the cost per m² built was determined. As the results, the economic-social housing obtained a covered area of 63 m². The drifts of the structure were 0.00235 in the X direction, and 0.00025 in the Y direction, showing that in none of the cases did it exceed the limit provided in E.030. It was determined that the cost per m² of the house is S/. 1,445.52, being up to 66.3% cheaper than a masonry house. It is concluded that the Steel Frame system is feasible as an economic and sustainable solution for the population that does not have the resources for conventional housing.

Keywords: Housing design, steel, housing construction, budget.

Viviendas Económicas Sociales: Steel Frame en la zona rural de Cajamarca.

Luis Antonio Focón Colina, Ing.¹, Peter Esrom Vigo Intor, Ing.², Lizbeth Milagros Merma Gallardo, Mg.³ 

^{1,3}Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00023187@upn.pe, lizbeth.merma@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00037346@upn.pe

Resumen– La presente investigación tuvo como objetivo general determinar si el sistema constructivo de Steel Frame es económico, sustentable y factible para viviendas en la zona rural de la ciudad de Cajamarca. La investigación corresponde al tipo aplicada, con un diseño no experimental, transversal y descriptivo. Como población se tuvo la zona rural de la ciudad de Cajamarca y se tiene como muestra un terreno de 200 m². Para el desarrollo investigación se diseñó una vivienda que cumpla con los requerimientos mínimos arquitectónicos, para luego ser analizado estructuralmente mediante un modelamiento matemático, y finalmente con el análisis de precios unitarios se determinó el costo por m² construido. Como los resultados, la vivienda económica-social obtuvo un área techada de 63 m². Las derivas de la estructura fueron de 0.00235 en dirección X, y 0.00025 en dirección Y, demostrando que en ninguno de los casos sobrepasa el límite dispuesto en la E.030. Se determinó que el costo por m² de la vivienda es de S/. 1,445.52, siendo hasta un 66.3% más económico que una vivienda de albañilería. Se concluye que el sistema Steel Frame es factible como solución económica y sustentable para la población que no cuenta con los recursos para una vivienda convencional.

Palabras clave: Diseño de vivienda, acero, construcción de viviendas, presupuesto.

I. INTRODUCCIÓN

Este artículo deriva de la tesis "...Diseño de una Vivienda Económica Social con el uso del Sistema Constructivo Steel Frame, Cajamarca-Cajamarca..." [1], con el propósito de impulsar la línea de investigación e implementar un proyecto social para las familias más vulnerables iniciando en la zona rural de Cajamarca cuyas viviendas existen de manera inhóspita.

Hoy en día en un mundo activo y globalizado, es menester la implementación de sistemas eficientes de construcción, con el fin de mejorar el rendimiento y optimizar recursos al momento de urbanizar; además que por medio del uso de estos sistemas, es posible mitigar la demanda mundial de viviendas de una manera rápida y eficaz, cambiando los arquetipos de construcción tradicionales de mampostería reforzada, confinada y artesanal, que generan desperdicios en demasía y mayores tiempos de construcción en comparación con sistemas industrializados. "...es aquí donde los sistemas prefabricados han encontrado su lugar en la construcción de viviendas, con el objetivo de ser realizadas de forma rápida a un bajo costo, cumpliendo las normativas de construcción, y manteniendo una calidad óptima..." [2]

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

Del estudio de nuevos sistemas de construcción, en conjunto del desarrollo nuevas tecnologías y nuevos productos, en la actualidad en el mercado, destaca el novedoso sistema constructivo Steel Framing, por ser un sistema que brinda variedad de ventajas constructivas modernas.

"...Según las últimas investigaciones, se prevé que para el año 2050 la población mundial alcanzará los 9 000 millones y en 2100 superará los 10 100 millones..." (Tushar et al., 2022). [3]

"...Como consecuencia al crecimiento de la población, el consumo de materiales también se verá aumentado, estimándose que el uso total de materiales alcanzará alrededor de 90 mil millones de toneladas para 2050, lo que se aproxima al doble de la cantidad registrada en 2015..." (Guerra et al., 2021). [4]

Esto nos indica que las vidas humanas dependen totalmente de la actividad constructiva, sin embargo, esta su vez se ha vuelto aún más perjudicial para el planeta. [5]

Por otro lado, el crecimiento de población es un principal impulsador para necesitar nuevos sistemas constructivos, que sean económicos y al mismo tiempo funcionales.

En India, debido a la creciente industrialización y gran número de población, las estructuras de acero conformadas al frío, conocidas por marco de acero, destinadas a estructuras para industrias y para vivienda de interés social, son las necesidades del momento, revelando como una alternativa muy económica y eficiente. "...Este marco de acero tiene ventajas de apariencia atractiva, construcción rápida, bajo mantenimiento, fácil ampliación, menor costo a largo plazo..." (Kubde & Sangle, 2017). [6]

En el Perú; la construcción de edificaciones con acero estructural, destinada para viviendas, es mínima o casi nula. Su participación en el mercado es imperceptible, debido a que las construcciones de concreto armado son las más usuales.

Actualmente, se emplea acero estructural en la construcción de grandes almacenes, centros comerciales y universidades; pero su utilización, no es frecuente en las edificaciones para viviendas, a pesar de los beneficios que aporta.

"...Las empresas constructoras y los beneficiarios, al adquirir sus viviendas demandan que el costo de ejecución y adquisición sea el menor y que les ofrezca condiciones seguras de habitabilidad..." [8]

Son muy pocos los estudios realizados sobre el uso de estructuras metálicas en construcciones de viviendas, el análisis de su comportamiento y los beneficios que aporta; por lo que no se encuentra una adecuada comparación con las estructuras de concreto armado donde se muestre la

influencia que tiene en la rentabilidad del diseño de las viviendas.

Es preciso recalcar que hoy en día, en nuestro país, no es habitual la enseñanza de diseño en acero, por las universidades. Sin embargo, para el diseño de estructuras metálicas, se señala que se requiere realizar un detallado cálculo estructural para determinar las dimensiones de los elementos estructurales, pues la adecuada selección de dimensiones de cada elemento va a determinar significativamente los costos de ejecución de las obras. A diferencia del diseño en acero, los cálculos estructurales necesarios para el diseño en concreto armado son muy conocidos, por lo que su uso es más común.

También, se observa que las dimensiones de los elementos estructurales van a determinar los costos de elaboración de las obras. Los proyectos en general presentan un problema en común, el cual es el tiempo de ejecución de las construcciones con elementos de concreto armado. Si se comparan con los tiempos que toma ejecutar una obra con elementos estructurales metálicos, se podría determinar la estructura más económica por el ahorro que se produce al reducir considerablemente los tiempos de ejecución.

A nivel local en Cajamarca, "...según el último censo del año 2017 reportado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, se ha reportado que de las 376223 viviendas registradas en Cajamarca, de las cuáles 1235 viviendas fueron reportados de materiales de bajo costo como triplay, calaminas, esteras; lo que indica que las viviendas económicas representan el 0.32% del total, y deben ser cubiertas con algún sistema constructivo de un costo accesible y sustentable para la población..." (INEI, 2017). [9]

Actualmente en Cajamarca, la utilización de sistemas de albañilería confinada son los más comunes, no solo por su comportamiento sísmico sino también por su ventaja económica. Esto no implica que sea el más idóneo para la construcción de viviendas en estos tiempos, abriendo así la oportunidad para estudiar la factibilidad de nuevos sistemas como el propuesto en esta investigación, el uso del sistema constructivo Steel frame para la construcción de viviendas unifamiliares en la zona rural de Cajamarca. La investigación actual hace énfasis en la zona rural de Cajamarca, puesto que es el sector donde se encuentran la mayoría de viviendas de materiales rústicos y de bajos costos, significando que la población perteneciente a esa zona, no cuenta con los recursos necesarios para obtener una vivienda típica de concreto o de albañilería, por lo cual el desarrollo de esta investigación representa una solución socio-económica frente la escasez de inmuebles de condiciones similares a las viviendas de concreto o albañilería, en cuanto a seguridad y comodidad, pero que tengan un costo de construcción más asequible.

La presente investigación trata de analizar el diseño y proceso constructivo del sistema Steel frame y verifica si es económico, sustentable y factible en el uso de viviendas económicas en la zona rural de la ciudad de Cajamarca.

Se justifica socialmente debido a que se espera diseñar una vivienda económica y sustentable como solución práctica a la demanda de viviendas de la zona rural de Cajamarca, que beneficiará a las familias que carezcan de las condiciones económicas de adquirir una vivienda de material noble, siendo el desarrollo de esta investigación una alternativa de interés social, con propósito de una implementación a futuro del sistema Steel frame en el diseño de viviendas.

La investigación se ve justificada también el ámbito teórico, puesto que se espera que por el intermedio de este estudio se acrecenté los conocimientos sobre el diseño y construcción de viviendas con el sistema constructivo Steel frame, dejando esta investigación como precedente para futuras investigaciones que deseen profundizar en el diseño de estructuras con el sistema Steel frame.

Ante la problemática expuesta y con la finalidad de mejorar la vida de la población surgió la siguiente pregunta de investigación: ¿El diseño y proceso constructivo de Steel Frame es económico, sustentable y factible para ser utilizado en viviendas económicas en la zona rural de la ciudad de Cajamarca – Cajamarca?

El objetivo general de la investigación fue: Determinar si el diseño de Steel Frame es económico, sustentable y factible para viviendas en la zona rural de la ciudad de Cajamarca.

En concordancia con el planteamiento del problema y el objetivo de la investigación se tiene como hipótesis general la siguiente: El sistema constructivo Steel Frame es económico, sustentable y factible para viviendas en la zona rural de la ciudad de Cajamarca.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo aplicada, descriptiva, califica como un diseño no experimental, su diseño es transversal y describe los pormenores del diseño de una vivienda con sistema constructivo Steel frame destinada a ser económica, sustentable y factible en la zona rural de la ciudad de Cajamarca. [10]

Se tomó como población la zona rural de la Ciudad de Cajamarca donde predominan viviendas de características austeras y de bajo presupuesto.

La técnica de muestreo seleccionada es no probabilística, puesto que la muestra se seleccionó a criterio de los investigadores, que seleccionaron el terreno de 200 m² para el diseño de la vivienda con sistema constructivo Steel Frame, representando un área construida de 63 m².

Como muestra se seleccionó el terreno donde se llevaría a cabo la construcción de la vivienda con diseño Steel Frame, siendo este ubicado en el distrito de Cajamarca, específicamente en la Carretera 3N camino a Jesús, la zona escogida se califica como una zona R3.

A. Técnicas de recolección de datos

En esta investigación se hará uso de la revisión documental, recopilando la información teórica a utilizar para el diseño Steel Frame de una vivienda económica, haciendo

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

uso de las respectivas normativas como las normas A.010 y A.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones para las características arquitectónicas de la vivienda, así como las normas E.030, E.090 y las norma internacionales AISI-S100-2016 y el Manual de ingeniería de Steel Framing para el análisis sísmico y estructural de la vivienda.

B. Instrumento de recolección de datos

Como instrumentos de recolección de datos se tiene la matriz de evaluación de análisis arquitectónico, sistema constructivo Steel Frame, para análisis estructural y para determinar el costo por beneficio de la vivienda, estos formatos han sido diseñados por los investigadores de acuerdo con el tema en que se centran, además de cubrir los criterios que requieren los objetivos de estudio.

Matriz 01: Diseño Arquitectónico: en el diseño arquitectónico, se evalúa que cumpla con lo establecido con la norma A.010 y A0.20, que es: área mínima construida: mayor a 25 m²; que tenga un baño, mínimo dos dormitorios, un lavatorio, una cocina, un comedor, un estar.

Matriz 02: Análisis Estructural: en esta matriz se evalúa el comportamiento de la estructura ante un sismo, cumpliendo con los criterios como: que tenga un diseño de construcción regular verticalmente y horizontal, la estructura sea flexible en los diafragmas, tenga alineamiento de en los ejes de los muros, cumpla con rigidez lateral y horizontal, su densidad de muros sea optima.

Matriz 03: Costo beneficio de Vivienda: se diseñará el costo por metro cuadrado de la vivienda, la evaluación de la calidad de los materiales, disponibilidad de mano de obra calificada, disposición de mano de obra para reparaciones, tiempo de construcción de la vivienda, tiempo de diseño de la vivienda, cantidad de desperdicios.

C. Técnicas de recolección de datos

Como materiales empleados para el diseño Steel Frame de una vivienda económica social se hicieron uso de los siguientes softwares computarizados: SAP 2000, MS PROJECT, S10 PRESUPUESTO, EXCEL, WORD.

D. Recopilación de información

Se emplearon Matrices de evaluación para diseño de viviendas, sistema constructivo de Steel Frame.

Durante la recolección de datos se realizó un diseño de una vivienda económica social en la zona rural de Cajamarca que cumpla con lo establecido con la norma A0.10 y A0.20 que describe que el área mínima construida debe de ser mayo a 25 m² que cuente con un baño, mínimo 2 dormitorios, un lavatorio, una cocina un comedor y una sala de estar, para posteriormente evaluar el comportamiento sísmico de esta, debe de ser una construcción regular vertical y horizontalmente, que la estructura sea flexible en los diafragmas, tenga alineamiento en los ejes de los juros, cumpla con la rigidez lateral y horizontal y optima densidad de muros, así Se analizó el costo por m² de la construcción de la vivienda, teniendo en cuenta los precios de materiales de

calidad, tiempo de construcción y disponibilidad e mano obra para la zona, con ayuda de los costos brindado en el suplemento técnico de la Revista Constructivo (2021), además se hizo de las cotizaciones de los perfiles de acero.

E. Procesamiento de datos

Se procedió a analizar si la vivienda diseñada y con el sistema de construcción de Steel Frame llega a ser económica sustentable y factible de construir en la zona rural de la ciudad de Cajamarca.

III. RESULTADOS

Los siguientes resultados obtenidos en la tesis: “Diseño de una Vivienda Económica Social con el uso del Sistema Constructivo Steel Frame, Cajamarca-Cajamarca” [11]

A. Establecer el diseño arquitectónico de una vivienda económica-social para la zona rural de la ciudad de Cajamarca.

Conforme a los parámetros encontrados en la Norma Técnica A.010 (2021) y la Norma Técnica A.020 (2021) se selecciona tanto las características arquitectónicas para la vivienda unifamiliar económica social. [12]

TABLA 1
Características arquitectónicas de la vivienda

Ítem	Mínimo	Diseñada
Nº Habitaciones	3	3
Nº Baños	1	1
Nº Cocina	1	1
Nº Sala-comedor	1	1
Nº Lavadero	1	1
Nº Estacionamientos	0	0
Nº Calefacción	0	0
Nº Ductos	0	0

TABLA 2
Características de ventilación

Ítem	SI	NO
El baño tiene ventilación	X	
Todos los ambientes cuentan con ventilación	X	

(Vano = Al 5% > Área Ventilada)

TABLA 3
Longitudes para acceso dentro de vivienda

Parámetro	Mínimo (m)	Diseñado (m)
Circulación interna de las viviendas	0.90	0.90
Vano para puerta de ingreso principal	0.90	1.00
Vano para puerta de habitaciones	0.80	0.80
Vano para puerta de baños	0.70	0.80
Altura mínima de puertas	2.10	2.10
Altura mínima de ambientes	2.30	2.30

TABLA 4
Cálculo de pozo luz [26]

Parámetro	Mínimo (m)	Diseñado (m)
Circulación interna de las viviendas	0.90	0.90
Vano para puerta de ingreso principal	0.90	1.00
Vano para puerta de habitaciones	0.80	0.80
Vano para puerta de baños	0.70	0.80
Altura mínima de puertas	2.10	2.10
Altura mínima de ambientes	2.30	2.30

B. Elaborar el análisis estructural mediante el modelado matemático de una vivienda con el diseño Steel Frame.

Para el desarrollo de este sistema estructural se tomó en consideración el uso del “Manual de Ingeniería de Steel framing del ILAFA (Instituto Latinoamericano del Fierro y Acero) presentado por Dannemann (2007); el sistema estructural de Steel frame considera debe ser analizado no linealmente, es la forma de garantizar o la forma en la que podemos determinar un desplazamiento horizontal, así como un correcto y eficiente trabajo de los flejes se consideró las normativas nacionales tales como: la Norma Técnica E.020 (2020) para la asignación de cargas a la estructura, la Norma Técnica E.030 (2020) para el análisis sísmico de la vivienda, además también se tuvo en cuenta las disposiciones de la Norma Técnica E.090 (2020) de estructuras de acero.

TABLA 5
Cargas aplicadas a entepiso

	Valor según Norma 0.20	Carga distribuida (Lineal)
Entepiso CM	50 kg/m ²	30 kg/m
Cubierta CM	50 kg/m ²	30 kg/m
entepiso CV	200 kg/m ²	120 kg/m
Cubierta CV	70 kg/m ²	42 kg/m

TABLA 6
Cargas de viento designadas para entepiso y cobertura según E.020.

Nº de piso	Fuerza del viento (norma)	Ancho tributario	Altura entepiso	Fuerza de viento(considerar)
Piso 1	75	0.6	5.4	121.50

TABLA 7
Verificación de deriva en el sentido X+.

	Des. Superior (cm)	Des. Inferior (cm)	Deriva inelástica (cm)	altura (cm)	Deriva calculada	Deriva normativa	Observación
cubierta	1.01890	0.73741	0.63335	270	0.00235	0.01	ok

TABLA 8
Verificación de deriva en el sentido X-

	Des. Superior (cm)	Des. Inferior (cm)	Deriva inelástica (cm)	altura (cm)	Deriva calculada	Deriva normativa	Observación
cubierta	1.01896	0.73741	0.63349	270	0.00235	0.01	ok

TABLA 9
Verificación de deriva en el sentido Y+

	Des. Superior (cm)	Des. Inferior (cm)	Deriva inelástica (cm)	altura (cm)	Deriva calculada	Deriva normativa	Observación
cubierta	0.15448	0.12423	0.06806	270	0.00025	0.01	ok

TABLA 10
Verificación de deriva en el sentido Y-

	Des. Superior (cm)	Des. Inferior (cm)	Deriva inelástica (cm)	altura (cm)	Deriva calculada	Deriva normativa	Observación
cubierta	0.15448	0.12423	0.06806	270	0.00025	0.01	ok

C. Análisis comparativo estructural

La importancia del componente estructural reside en garantizar un adecuado comportamiento durante un evento sísmico severo, de esta manera se garantiza cumpliendo con los parámetros establecidos por la Norma Técnica E.030, donde establece que el valor máximo de la deriva de entepiso para un sistema estructural de acero no debe sobrepasar el 0.01.

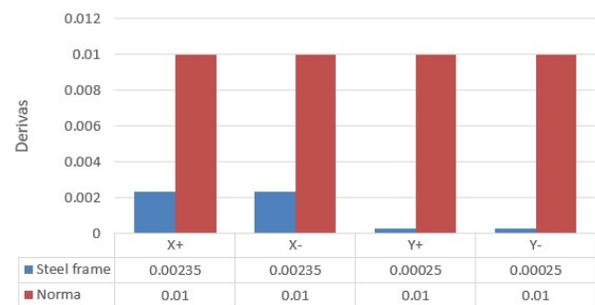


Fig.1 Derivas de cubierta calculada vs normada

En la figura 1 se compara gráficamente las derivas obtenidas del análisis sísmico con el límite establecido en la norma E.030 para las estructuras de acero. Como parte de los resultados de análisis estructural de la vivienda Steel Frame,

D. Determinar el costo de la vivienda diseñada por el sistema constructivo Steel Frame.

Conforme a los precios de materiales y costos de mano de obra brindado en la Revista Constructivo (2021) se procedió a realizar el análisis de precios unitarios mediante el programa

“S10 Costos y Presupuestos”, realizándose el respectivo metrado de todos los componentes de la vivienda, tanto las partidas de arquitectura, estructuras e instalaciones sanitarias y eléctricas. Cabe destacar que para el costo del proyecto se tuvo en cuenta partidas de cimentación, que por proceso constructivo del sistema Steel Frame se dispuso una losa de cimentación; además también se tomó en cuenta el diseño de un pozo tierra en cuanto a instalaciones eléctricas de la vivienda.

Conforme al diseño de la vivienda con sistema Steel Frame, se tiene que el costo total de la obra asciende a un total de USD 24'573.12 sin el impuesto general a las ventas (IGV). De acuerdo al diseño arquitectónico se sabe que la vivienda tiene un área construida de 63m², por lo cual el costo por m² de la vivienda con sistema constructivo de Steel Frame en la zona rural de Cajamarca es de USD. 390.05 sin IGV.

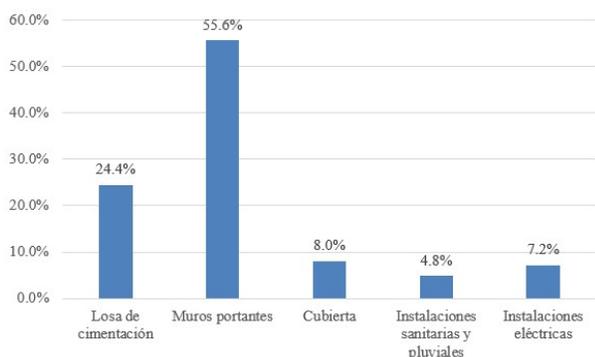


Fig. 2 Incidencia en porcentajes de partidas respecto al presupuesto de obra

En la figura 3, se grafica la incidencia por materiales respecto al costo total de la obra, siendo los materiales que engloban la construcción de los paneles los que mayor incidencia representan respecto al costo total de los materiales de obra, con un 40.9 % del costo total de los materiales; es decir, un monto que asciende a los USD. 5'838.60.

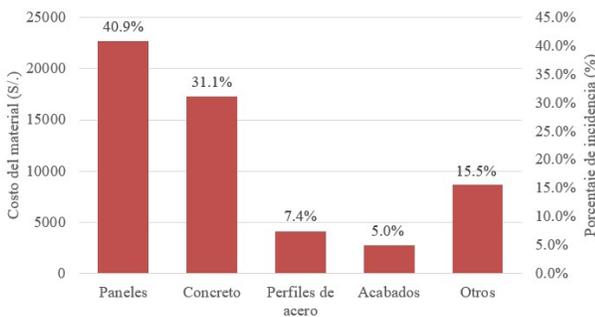


Fig. 3 Incidencia en porcentajes del costo de materiales

En la figura 4, se muestran los porcentajes de incidencia de los costos de mano de obra y los materiales a usar en la construcción de la vivienda Steel frame, demostrando que con un costo de USD. 14'276.35, los materiales representan el 58.1% del costo total de la vivienda, mientras que los materiales representa el 41.9% restante del costo total.

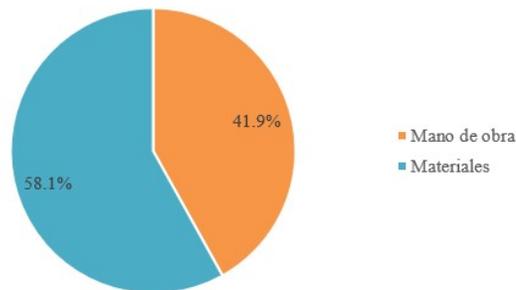


Fig. 4 Incidencia en porcentajes del costo de materiales [32]

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como parte del desarrollo de la investigación, diseño de una vivienda económica social, en la tabla 1 se muestran las características arquitectónicas de la vivienda, designando el número mínimo de ambientes que deberían tener este tipo de viviendas. En la tabla 2, se evidencia que todos los ambientes de la vivienda cuentan con una ventilación adecuada; por otro lado, en la tabla 3 y la tabla 4 se especifican las longitudes para el acceso dentro la vivienda y de los pozos de luz respectivamente, estas medidas están conforme con las disposiciones de las normas técnicas A.010 y A.020 del reglamento nacional de edificaciones; logrando diseñar una vivienda con una densidad habitacional de 4 personas con un área techada 63 m², cumpliendo con todos los parámetros mínimos de diseño. Estas disposiciones arquitectónicas difieren a las establecidas por López Macías (2017) en su estudio en Ecuador, que de acuerdo a las disposiciones del MIDUVI (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda) dispuso un vivienda de interés social de 36 m² que cuenta con los mismos ambientes de cocina, sala-comedor, baño y dos dormitorios; a diferencia del presente proyecto que cuenta con 3 dormitorios; estas diferencias del diseño arquitectónico corresponde principalmente a las diferencias normativas de cada país. [13]

De acuerdo con el análisis estructural, cumpliendo los parámetros establecidos en la Norma Técnica E.030 (2020) se comprueba según lo mostrado en la figura 23, que el valor máximo permisible de deriva de 0.01 para estructuras de acero, no es sobrepasado por las derivas obtenidas en ninguna dirección de análisis X o Y, por el cual el desplazamiento relativo no afecta la estructura en cuanto su comportamiento sismorresistente. Comparando con otras investigaciones, Cáceres Gaibor (2018) obtuvo como máxima deriva un valor de 0.0179, superior a la deriva de 0.00235 obtenida en la

presente investigación, sin embargo, cumple con los requerimientos de su respectiva norma nacional ecuatoriana que indica que la deriva máxima debe ser menor a 0.02 para estructuras de acero, cabe destacar que la propuesta del autor es una vivienda de 3 niveles. En la investigación de Cruz Castro (2018), de un edificio de 5 pisos con estructuras de acero, presenta una deriva máxima de 0.01, estando al límite de la recomendación del límite recomendado por la E.030 para este tipo de estructuras; se presentan las mayores derivas en dirección Y, debido al tamaño de las columnas de acero que se encuentra en esa dirección, lo que confiere mayor rigidez lateral, de manera similar sucede en el presente proyecto pero la dirección X. Derivas más cercanas a los valores obtenidos en la presente investigación, son los obtenidos por Vera Nuñuvero (2016), que presenta como máximo valor de deriva de 0.0057, aún menor al permitido por la E.030, pero mayor al doble del obtenido en la presente investigación, destacando que se trata de una estructura de 5 niveles. [14]

Los costos obtenidos por metro cuadrado de construcción de la vivienda Steel frame fue de S/. 1,445.52 sin incluir IGV, este monto se compara por el dispuesto en el suplemento técnico de la Revista Constructivo (2021), que menciona que el costo por m² de una vivienda de albañilería confinada con acabados normales y mano de obra para la región sierra es de S/. 3,998.00 con IGV y de S/. 3,388.14 sin IGV, demostrando así que una vivienda con el sistema constructivo Steel Frame es hasta un 57.3% más económico que una vivienda convencional de albañilería confinada tomando como costo el metro cuadrado de construcción; estos resultados difieren a lo obtenido en la investigación de Carpio Toral (2014), donde las viviendas de albañilería y de sistema steel frame tienen prácticamente el mismo costo por m². En cuanto a la incidencia de los costos, los muros portantes o el armazón de acero de la vivienda representa hasta un 55.6% del costo total, de manera similar, para Cáceres Gaibor (2018) la estructura metálica de su vivienda diseñada con Steel Frame representa un 80.7% del costo total de la obra. [15]

En el caso de esta investigación, una vivienda de un solo nivel con el sistema Steel Frame, su costo es inferior al de una estructura de concreto armado o albañilería, que son de los sistemas convencionales en la zona; sin embargo, en edificios de mayor número de niveles, "...la estructura Steel Frame puede ser un 24% más costoso que un edificio de concreto armado, considerando 5 niveles para ambos..." (Rambabu, 2019). [16]

Respecto a los parámetros arquitectónicos, se diseñó una vivienda económica-social cumpliendo con las mínimas características de una vivienda: ventilación, distancias mínimas para el acceso dentro de la vivienda. Llegando a obtener una densidad habitacional de 4 personas para unos 63 m² de área techada mínima. [17]

Del análisis estructural mediante el modelamiento en SAP 2000 utilizando "Manual de Ingeniería de Steel Fleming y Acero", se realizó un análisis no lineal para determinar los desplazamientos horizontales y un correcto eficiente de los flejes, llegando a la conclusión que la estructura propuesta es

capaz de resistir las cargas permisibles con los perfiles de acero seleccionados, siendo además capaz de soportar las fuerzas generadas por un sismo al comprobar que sus límites de desplazamientos se encuentran dentro de los recomendados por la normativa.

Se asegura que el diseño de una vivienda de Steel Frame es económico, sustentable y factible para la zona rural de Cajamarca cumpliendo con los estándares de diseño arquitectónico y análisis estructural, sustentando esta afirmación debido a la comparación de costos por m² de construcción de una vivienda Steel Frame frente a una vivienda tradicional de albañilería confinada; el costo con el sistema Steel Frame es de S/. 1445.52 por m², mientras que para el sistema de albañilería el costo es de S/. 3388.14, representando hasta un 57.3% más económico, siendo así una vivienda de mayor alcance social para poblaciones con menores recursos. [18]

Como implicancias del desarrollo de la investigación, en el marco teórico es la obtención de conocimientos en nuevos sistemas de construcción para la ciudad de Cajamarca, como lo es el sistema Steel Frame, sistema constructivo de escaso uso en la zona. Otra implicancia o consecuencia de la investigación en el marco práctico, es la facilidad de adquisición de una vivienda con sistema Steel Frame que supondría para la población de escasos recursos, esto debido al costo reducido que representan las viviendas con sistema constructivo Steel frame frente a otros tipos de edificaciones.

Como parte de las limitaciones del desarrollo, existe escasa información acerca del sistema de construcción Steel Frame en el Perú y no se encuentra con facilidad este tipo de construcciones, además existe inconvenientes para obtener la cotización de perfiles de acero galvanizado en la zona de Cajamarca, debido al poco movimiento comercial que tiene y la falta o escasa mano de obra calificada para la construcción de viviendas con el sistema constructivo Steel Frame, sin embargo se puede contratar mano de obra calificada de Lima para la ejecución de la construcción.

Otra limitación del estudio fueron los costos de mano de obra para la región de Cajamarca, puesto que obtener estos como tal, teniendo en cuenta la incidencia y los rendimientos, conlleva a realizar un estudio de campo detallado de un número considerable de obras, para verificar y tener un costo acertado de la mano de obra de la zona; puesto a esta limitación, se optó por usar los costos del suplemento técnico de la Revista Constructivo (2021), si bien esta revista nos brinda precios para Lima y Callao, estos fueron seleccionados para la elaboración del presupuesto de la vivienda, resultando en un costo referencial para la vivienda económica social con sistema Steel Frame. [19], sin embargo, es rentable el costo de mano de obra calificada de otro lugar para, ya que se considero estos costos dentro del presupuesto.

La implementación del sistema constructivo Steel Frame para viviendas en la zona rural de la ciudad de Cajamarca, se recomienda como alternativa y solución económica, sustentable y factible para aquella población que requiere pero no cuenta con los medios económicos para

adquirir una vivienda tradicional de concreto armado o albañilería, teniendo en la vivienda con sistema Steel Frame un domicilio con comodidades similares pero con un costo menor considerable; resolviendo así de esta manera un problemática social, como es la carencia de vivienda propia por parte de un sector económico de la población de Cajamarca.

REFERENCIAS

- [1] Cáceres Gaibor, C. A. (2018). Análisis comparativo técnico-económico de un sistema tradicional aporticado y un sistema estructural liviano para la construcción de viviendas [Disertación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14631>
- [2] Carpio Toral, M. P. (2014). *Diseño estructural de una vivienda aplicando el sistema constructivo STEEL FRAMING* [Trabajo de Grado, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3635>
- [3] Código Nacional de Electricidad. (2006). Código Nacional de Electricidad - Utilización.
- [4] Cruz Castro, C. M. (2018). *Análisis Comparativo entre Sistemas de Concreto Armado y Estructuras de Acero en el Diseño de un Edificio* [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/779>
- [5] Dannemann, R. G. C. (2007). Manual de Ingeniería de Steel Framing.
- [6] Fresno Chávez, C. (2019). Metodología de la investigación : así de fácil. El Cid Editor.
- [7] Guerra, B. C., Shahi, S., Mollaei, A., Skaf, N., Weber, O., Leite, F., & Haas, C. (2021). Circular economy applications in the construction industry: A global scan of trends and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129125>
- [8] Haro Rubio, C. F. (2017). *Sistema Constructivo aplicado para la construcción de viviendas de interés social en la provincia del Guayas* [Tesis de pregrado, Universidad de Especialidades Espiritu Santo]. <http://repositorio.uees.edu.ec/123456789/546>
- [9] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). McGraw-Hill.
- [10] INEI. (2017). Censos Nacionales XII de Población y VII de Vivienda.
- [11] Kubde, P. W., & Sangle, K. K. (2017). Ampliación del método da resistencia directa para dimensionar paredes de marco de acero. *Revista ALCONPAT*, 7(2), 172–185. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i2.196>
- [12] López Macías, C. A. (2017). Estudio y análisis comparativo entre el sistema constructivo tradicional en hormigón armado con el sistema de construcción liviana aplicado a viviendas de interés social del sector rural de la zona 8 provincia del Guayas [Trabajo de titulación, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2102>
- [13] Martínez, D., & Cueto, G. (2012). *Steel Framing* [Tesina, Universidad de la República (Uruguay)]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3635>
- [14] Mauricio Jorajuría, F. S. (2015). *Steel Framing y sus principales usos en Uruguay* [Tesina, Universidad de la República (Uruguay)]. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/17233>
- [15] Norma Técnica A.010. (2021). Condiciones Generales de Diseño del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- [16] Norma Técnica A.020. (2021). Vivienda del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- [17] Norma Técnica E.020. (2020). *Cargas*.
- [18] Norma Técnica E.030. (2020). Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- [19] Norma Técnica E.090. (2020). *Estructuras Metálicas*.
- [20] Pérez Toribio, Y. M. (2013). *Aplicabilidad del sistema steel-frame en viviendas económicas de República Dominicana* [Trabajo Final de Máster, Universidad Politécnica de Cataluña]. <http://hdl.handle.net/2099.1/19687>