

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i3.1466>

Viabilidad del sistema constructivo de muros portantes de hormigón armado en el cantón Santa Elena

Viability of the reinforced concrete load-bearing wall construction system in Santa Elena city

Evelyn Gabriela Santos Orrala

evelyn.santosorrala4698@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0007-1490-750X>

Universidad Estatal Península de Santa Elena
La Libertad – Ecuador

Miguel Jamil Suárez Orrala

<https://orcid.org/0009-0004-9609-8432>

miguel.suarezorrala5004@upse.edu.ec

Universidad Estatal Península de Santa Elena
La Libertad – Ecuador

Vianna Andrea Pinoargote Rovello

vpinoargote@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6358-8188>

Universidad Estatal Península de Santa Elena
La Libertad – Ecuador

Juan Carlos Muyulema Allaica

jmuyulema@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9663-8935>

Universidad Estatal Península de Santa Elena
La Libertad - Ecuador

Artículo recibido: 18 julio 2025 - Aceptado para publicación: 28 agosto 2025
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

La construcción de viviendas multifamiliares en contextos urbanos enfrenta el desafío de garantizar seguridad estructural, eficiencia económica y sostenibilidad en la edificación. En este marco, el presente estudio evalúa la viabilidad técnica y financiera del uso del sistema constructivo de muros portantes de hormigón armado (MDL) en edificaciones multifamiliares de cinco niveles, en comparación con el sistema tradicional de pórticos (SP). El objetivo principal fue determinar si el sistema MDL ofrece ventajas estructurales y económicas frente al sistema SP, considerando los requerimientos normativos y las necesidades de reducción del déficit habitacional. Se aplicó un enfoque mixto que incluyó una revisión exhaustiva de la literatura, encuestas a profesionales del sector y una modelación computacional con el software SAP2000. Se analizaron parámetros estructurales como carga sísmica, desplazamientos y coeficientes de estabilidad, además de un análisis financiero de inversión, costos directos, tiempo de construcción y rentabilidad. Los resultados mostraron que el sistema MDL presenta un mejor desempeño frente

a cargas laterales, con desplazamientos significativamente menores y en cumplimiento de la normativa ecuatoriana de la construcción (NEC). En el aspecto financiero, el MDL reduce en un 33% el tiempo de construcción respecto al SP, optimiza materiales en rubros claves y genera mayores márgenes de rentabilidad, lo que lo convierte en una alternativa económicamente más eficiente. En conclusión, el sistema MDL constituye una opción técnica y financieramente viable, capaz de aportar a la reducción del déficit habitacional mediante construcciones seguras, eficientes y sostenibles.

Palabras clave: déficit habitacional, muros portantes, eficiencia constructiva, análisis financiero, viviendas multifamiliares

ABSTRACT

The construction of multifamily housing in urban contexts faces the challenge of ensuring structural safety, economic efficiency, and sustainability. Within this framework, the present study assesses the technical and financial feasibility of using reinforced concrete load-bearing wall systems (MDL) in five-story multifamily buildings, compared to the traditional frame system (SP). The main objective was to determine whether the MDL system offers structural and economic advantages over the SP system, considering regulatory requirements and the need to reduce the housing deficit. A mixed-methods approach was applied, including a comprehensive literature review, surveys of industry professionals, and computational modeling using SAP2000. Structural parameters such as seismic loads, displacements, and stability coefficients were analyzed, along with a financial evaluation of investment, direct costs, construction time, and profitability. The results indicate that the MDL system demonstrates superior performance under lateral loads, with significantly lower displacements, while complying with the Ecuadorian Construction Code (NEC). Financially, MDL reduces construction time by 33% compared to SP, optimizes material use in key components, and generates higher profit margins, making it a more cost-effective alternative. In conclusion, the MDL system proves to be a technically and financially viable option that can contribute to reducing the housing deficit through safe, efficient, and sustainable construction.

Keywords: housing deficit, load-bearing walls, construction efficiency, financial analysis, multifamily housing

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

A nivel global, la construcción de viviendas ha presentado un incremento sustancial en las últimas décadas, donde las edificaciones de hormigón armado fueron más frecuentes después de la segunda guerra mundial (Cvetković et al., 2024), lo cual representa un desafío para la industria de la construcción y que, además transforme sus prácticas para reducir su impacto ambiental en el uso de materiales y su posterior producción (Jegen et al., 2025). Este aumento en la demanda, por unidades de vivienda, es más representativa en países en vías de desarrollo (The World Bank, 2024) debido a que, la tasa poblacional es más alta en contraste con los países desarrollados. Además, Lopes-Dias, (2024), menciona que los sistemas constructivos tradicionales presentan una fuerte resistencia frente a nuevas implementaciones constructivas para viviendas.

Por otra parte, Sharafi et al. (2018) señalan que los sistemas estructurales prefabricados de hormigón pueden influir significativamente en el desempeño de las edificaciones al funcionar como un sistema de montaje. En esta misma línea, Sah et al., (2024), destacan que las construcciones con paneles de hormigón en muros externos son ampliamente utilizadas en el sector, ya que constituyen uno de los componentes más relevantes al estar en contacto directo con el entorno exterior. Este aspecto, como subrayan Dormohamadi et al., (2024), debe ser analizado considerando el ciclo de vida del material en comparación con otros sistemas constructivos. Desde una perspectiva técnica, Wang & Ng, (2023) enfatizan que la participación de los profesionales de la construcción es determinante para mejorar los sistemas tradicionales y, con ello, reducir la vulnerabilidad estructural de las edificaciones.

En el marco de entorno iberoamericano, es cuestionable la escasa información que abarque el uso de sistemas constructivos que viabilicen la utilización de muros portantes de hormigón en construcciones masivas, pese a ello, se ha logrado identificar investigaciones previas que abarcan ciertos criterios relacionados; como Meire et al., (2024), quienes indican que la construcción industrializada enfrenta actualmente el desafío de integrar de manera efectiva las dimensiones medioambientales y sociales. En el estudio realizado por los autores Pérez-Valcárcel et al., (2020), mencionan que su propuesta de losas de elevación con sistemas modulares, facilitan la instalación en obra permitiendo un desmontaje ágil y la reutilización de sus elementos, coincidiendo con el estudio de Aguado-Benito, (2020), quien encontró que la utilización de moldes recuperables en la fabricación de elementos estructurales reduce el costo de construcción, frente a los encofrados tradicionales (Altaba, 2022) que se consideran un sistema con un limitado número de usos.

Diversos estudios formales sugieren el uso de sistemas innovadores para el sector de la construcción y que por medio de la optimización de metodologías que permitan la mejora continua en las obras (Meire-Montaña et al., 2023), como la investigación realizada por Arengo-Piragine et al., (2020), quienes en su estudio aplicado a viviendas de interés social, detectaron una reducción en tiempos de ejecución de hasta un 33% de su sistema tipo steel framing propuesto,

en comparación al sistema tradicional, además de la reducción de residuos de construcción (Eijkman Schnell, 2024) por medio del diseño y aplicación de metodologías constructivas que aporten a un sistema de ecocnomía circular. Por su parte, Fernandez-Moscoso, (2022), centró su investigación en la evaluación de muros portantes de hormigón armado que han sufrido daños ante eventos sísmicos, y el análisis de la implementación de técnicas de rehabilitación estructural mediante modelaciones que permitan determinar capacidades y modos de falla de los muros rehabilitados. Bajo este contexto, a nivel iberoamericano es fundamental la implementación de sistemas constructivos que permitan reducir costos y mejorar los tiempos de ejecución, además de una adaptabilidad al entorno y vida cotidiana (Naranjo-Escudero, 2022), siendo posible el uso de muros portantes de hormigón armado en la construcción de edificaciones.

A nivel nacional, la literatura que especifique el uso de sistemas constructivos que utilicen muros portantes de hormigón en construcción de viviendas es escasa, como el estudio realizado por los autores Orellana-Jara & Maldonado-Noboa, (2022), quienes en su estudio de evaluación del comportamiento de muros portantes usaron como punto inicial un modelado computacional con tres tipos de estructuras con geometrías y cargas similares, pero con diferentes materiales, obteniendo resultados favorables para el sistema de muros portantes al obtener mayor ductilidad y rigidez al sistema estructural de la edificación estudiada.

En el ámbito local, aunque en la provincia de Santa Elena con corte al año 2024, se encuentran registradas 242 compañías del sector de construcción, es decir, 29 compañías más que en el año 2023, según datos de la Super-Intendencia-de-Compañías, Valores y Seguros, (2024), no se encuentran registros bibliográficos de proyectos de planes habitacionales que implementen el uso de sistemas de muros portantes de hormigón armado, más aún considerando que mediante el plan sectorial elaborado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, (2022), menciona que existe un déficit de viviendas a nivel nacional, de más de dos millones de unidades, equivalentes a un 53,69% del total de viviendas actuales, más aún en la región Costa, donde alcanza hasta un 58% de déficit. Es importante señalar que, mediante el reporte de seguimiento realizado por el mismo Ministerio de Desarrollo urbano y vivienda, (2024), esta entidad presenta un avance en la reducción del déficit habitacional de viviendas propuesto del 58,00% al 48,44%, es decir, que cumpliendo con la meta de los programas actuales, sigue existiendo un déficit habitacional considerable.

A partir de lo expuesto, el estudio de viabilidad de la implementación de un sistema constructivo por medio de muros portantes de hormigón armado en Santa Elena, representa un aporte significativo para alcanzar objetivos claves en el sector de la construcción, tanto para el desarrollo de viviendas unifamiliares, y, esencialmente edificaciones de mediana altura.

Es importante resaltar que, bajo este contexto la implementación de sistemas constructivos alternativos al sistema tradicional, tomando en consideración que la industria de la construcción consume un aproximado del 35% de la demanda energética global y representa un 38% en las

emisiones globales de carbono (Sah et al., 2024), se vuelven indispensables las innovaciones constructivas para este sector, pudiendo dar así alcance a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030 de la Organización de Naciones Unidas, al reducir las emisiones netas de carbono al ambiente, haciendo referencia al objetivo 11, cuya finalidad es alcanzar que las ciudades y asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

La presente investigación que obedece al estudio de viabilidad de un sistema constructivo con muros portantes de hormigón se justifica ya que se puede proponer una metodología que permite obtener resultados favorables de reducción de tiempos, menor consumo de energía y costos de fabricación. En este contexto, Firoozi et al., (2025), quienes partieron de una revisión exhaustiva de literatura, mencionan los beneficios de la disminución de consumo de energía, bienestar de los ocupantes y la eficiencia de costos como ventajas en la adopción de materiales y metodologías energéticamente eficientes de ejecución dentro de la industria de la construcción, siendo uno de sus principales hallazgos la reducción del consumo energético de hasta un 30% y de las emisiones de CO₂ de hasta un 25%. Por su parte, Edlebi et al., (2024), realizaron una investigación experimental sobre el comportamiento de muros de hormigón armado reforzados con elementos de acero mediante modelaciones numéricas y el uso de software computacionales, ante eventos sísmicos y los daños inducidos por terremotos, obteniendo resultados prácticos al ser de rápida implementación y, de esta manera reducir tiempos durante su ejecución.

Por su parte, Viera-Arroba, (2023), abordó la problemática de escasez y valor elevado de materiales de construcción en zonas andinas de Ecuador, a la vez que los materiales propuestos por el autor cumplan con normativas técnicas locales al ser añadidos a muros portantes de hormigón, mediante la ejecución de ensayos de laboratorio, el uso de software y análisis numéricos, determinando que el desplazamiento lateral relativo una vez realizado los respectivos ensayos, se encuentra dentro de los estándares solicitados por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para edificaciones sismoresistentes, teniendo también como resultado un manual de fácil entendimiento que detalla el proceso constructivo paso a paso de una vivienda tipo con el sistema propuesto.

Esta investigación basada en el estudio de viabilidad para sistemas de muros portantes de hormigón armado para edificaciones, promueve su originalidad ya que se desarrolla en un contexto de adaptabilidad a los escenarios actuales del sector de la construcción como un método alternativo al tradicional, como lo mencionan también los autores; Sánchez-Garrido et al., (2023), quienes en su estudio de métodos modernos de construcción en edificaciones, notaron la necesidad y trascendencia de desarrollar una Revisión Sistemática de Literatura (RSL) para obtener una comprensión más profunda del estado del arte para este segmento, logrando identificar, por medio de análisis cualitativos, herramientas y tecnologías usadas en el auge de la industria de la construcción de edificaciones mediante Métodos Modernos de Construcción

(MMC) catalogados dentro de la denominada Construcción 4.0, implicando el uso de nuevas tecnologías alternativas a la construcción tradicional.

Medina et al., (2023), partieron de un análisis y estudio histórico de viviendas colombianas construidas en el siglo pasado con criterios de modularidad e industrialización, que incluían la utilización de muros de hormigón, que sirvieron como punto de partida en construcciones posteriores en América latina, esto ya que se emplearon como sistemas tentativos pero no evolucionaron para su permanencia en el medio, encontrándose con intentos fallidos de entendimiento, posibilidades y limitaciones de diferentes sistemas constructivos disponibles de la época, estos resultados destacan la importancia de mantener sistemas innovadores de construcción masiva de viviendas que no reduzcan su implementación y que sean adaptables con el tiempo y lugar de aplicación, considerando que las edificaciones realizadas por medio de la modulación y agregación estuvieron entre los sistemas más avanzados de la época.

Desde la perspectiva de los autores Galindo-Caicedo et al., (2021), cuyo estudio con un enfoque cuantitativo, tuvo como objetivo estudiar el comportamiento desde el punto de vista financiero de la construcción de una edificación de interés social, analizando los datos financieros emitidos por la empresa ejecutora, la cual utilizó sistemas estructurales de muros de carga y mampostería estructural, realizando una comparación entre ambos sistemas, teniendo como resultados que el primer sistema mencionado resulta la más viable al tener una ventaja de 3% en la relación beneficio costo con relación al segundo sistema planteado, destacando que una vez realizado la evaluación de las variables propuestas, este sistema es más atrayente a los inversionistas cuando existe una producción de 10 a 15 edificaciones, variables que pueden ser determinantes para la toma de decisiones por parte de la alta gerencia.

Macias et al., (2017), en su trabajo investigativo iniciaron con el objetivo de la evaluación energética incorporada y operativa, mediante el análisis numérico y computacional con el uso de software y por medio del estudio de tres sistemas constructivos y, tradicional (CM), encofrados de hormigón aislado (ICF) y de muros portantes de hormigón armado (LBW), en dos entornos diferentes de costa y sierra, revisión de materiales y con modelamientos que incluyen variables térmicas y condiciones climáticas; y que, aunque obtuvieron mejores resultados con los sistemas ICF, el sistema con muros portantes ofreció un mejor desempeño energético a lo largo del ciclo de vida útil en comparación al sistema tradicional, ya que reduce significativamente el consumo de energía operativa, la cual representa el 80% del consumo energético total, frente al sistema tradicional denominado CM.

A partir del análisis de estos antecedentes, en los que se aplicaron enfoques cualitativos (Galindo-Caicedo et al., 2021) para el desarrollo del estudio, en conjunto con modelos matemáticos y utilización de softwares computacionales (Macias et al., 2017), destacando el empleo de una Revisión Sistemática de Literatura (Sánchez-Garrido et al., 2023) para obtener evidencia científica comprobable sobre la temática de estudio. De manera similar, análisis

documentales que sirvieron como punta de partida para la generación de datos significativos en el uso de nuevos sistemas constructivos (Medina et al., 2023), permitiendo establecer objetivos claros mediante la incorporación de variables de estudio, que facilitó la formulación y análisis de la propuesta orientada a la resolución de un sistema constructivo que se adapte al entorno geográfico actual.

El objetivo general de la presente investigación consistió en realizar en estimar la viabilidad del sistema constructivo de muros portantes de hormigón armado de una edificación de 5 niveles en el cantón Santa Elena, por medio de enfoques metodológicos previos y en la identificación de variables claves para la demostración de su aplicabilidad.

El estudio partió de una revisión exhaustiva de literatura que permitió identificar criterios relevantes en la implementación de sistemas constructivos alternativos al sistema tradicional dentro de la industria de la construcción de edificaciones de mediana altura. Se plantearon a su vez tres objetivos específicos: i) establecer la oferta y demanda del sistema constructivo de muros portantes mediante un estudio de mercado para identificar las preferencias de los constructores y de la población; ii) desarrollar los diseños del sistema constructivo de muros portantes de hormigón armado verificando el cumplimiento de los códigos y normas vigentes mediante el uso de la herramienta de diseño asistido SAP2000, para la evaluación de la capacidad de carga y seguridad estructura; y, finalmente, iii) elaborar un análisis financiero de la construcción de edificaciones utilizando el sistema tradicional versus el sistema de muros portantes, mediante el cálculo de costos, rentabilidad y periodo de retorno de la inversión, para la comparación de resultados obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de esta investigación aborda un enfoque descriptivo no experimental, de tipo cualitativa y cuantitativa, partiendo de la información recolectada a través de una revisión de literatura exhaustiva provenientes de prestigiosas bases de datos bibliográficas, garantizando una selección de fuentes apropiadas (Guaygua et al., 2023) para el estudio. Esta conformado por tres fases: i) recolección de información por medio de encuestas dirigidas a profesionales de la construcción que evidencien su capacidad analítica para la selección desde el punto de vista técnico, las bondades o sugerencias entre los dos sistemas constructivos analizados, el sistema tradicional y el sistema de muros portantes de hormigón para la construcción de edificaciones; ii) una vez compilado la información, se desarrolló los diseños constructivos, en similares condiciones arquitectónicas, diferenciándose solamente en el diseño estructural entre ambas edificaciones siendo analizadas por medio de un software computacional, el mismo que ayudó a obtener datos que fueron cotejados con normas de construcción locales, para comprobar que esten dentro de los parámetros mínimos de aceptabilidad; y, la tercera fase, iii) que comprende un

análisis financiero comparativo entre los dos sistemas constructivos propuestos por medio de indicadores financieros para medir la viabilidad entre ambos sistemas.

Fase I

Aunque las metodologías cualitativa y cuantitativas tienen sus bases y líneas de acción diferenciadas en la comunidad científica, ambas se complementan de buena manera, es decir, no son excluyentes (Sánchez-Molina & Murillo-Garza, 2021), para esta investigación las encuestas fueron aplicadas a un número específico de profesionales con experiencia (Galindo-Caicedo et al., 2021) en el área de construcción, partiendo con un número inicial de 21, aplicando criterios de inclusión y exclusión como: edad, años de experiencia, especialidad y cargo actual, para la obtención de la cantidad de encuestados final.

Fase II

Para esta fase, se desarrolló el análisis computacional de muros portantes en una edificación de cinco niveles; de manera similar se realizó el análisis a una edificación con similares características pero esta vez con el uso del sistema tradicional de pórticos (columnas y vigas). Finalmente, se obtiene un cuadro comparativo con relación al modelo principal objeto de estudio (Orellana-Jara & Maldonado-Noboa, 2022), que con el establecimiento de un diseño arquitectónico similar para ambos sistemas constructivos, que encaja conforme condiciones específicas de un lote en el cantón Santa Elena, cabecera cantonal, con las características mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1

Características de diseño arquitectónico básicas consideradas para ambos sistemas a evaluar

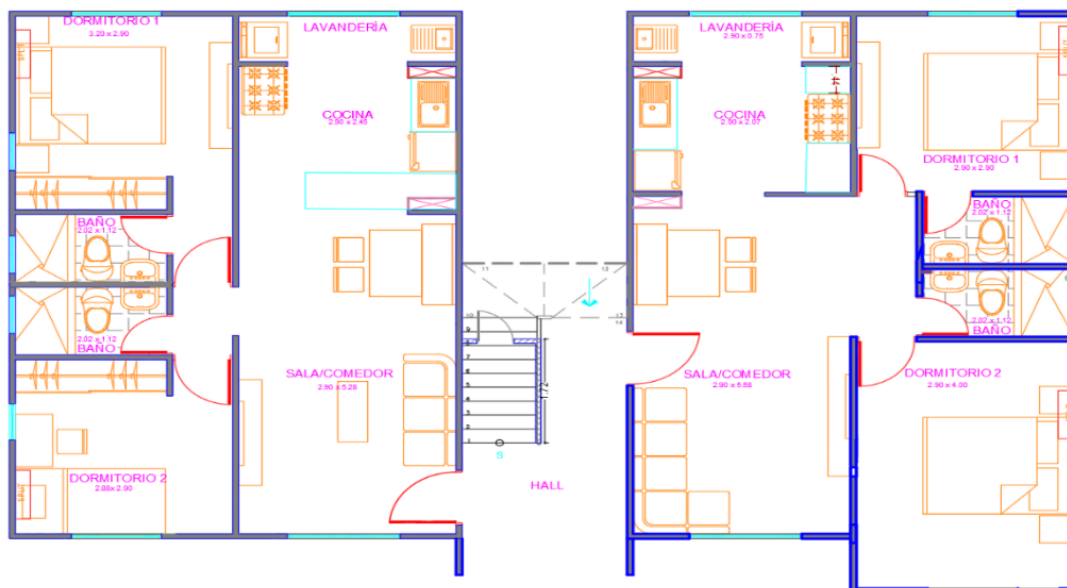
Área de Construcción por piso	Número de pisos (u)	Área por departamento	Departamentos por piso (u)	Distribución arquitectónica interna
127,30 m ²	5	52,63 m ²	2	2 habitaciones, 2 baños
		55,50 m ²		completos, sala, comedor, cocina y lavandería.

Para efecto de análisis de viabilidad, objeto del estudio, se establece como única diferencia entre las propuestas el tipo de sistema estructural constructivo empleado, siendo el primero el sistema de muros portantes de ductibilidad limitada (MDL) y el sistema de pórticos de vigas y columnas (SP), que es el método tradicional. Además, se establece el tipo de cubierta metálica sobre estructura metálica, acabados de cerámica en pisos y en paredes de baños a mediana altura, a excepción del área de ducha que tendrá un recubrimiento de piso a techo para asegurar una correcta impermeabilización y facilidad de mantenimiento. En relación a las áreas comunes y al tratarse de una edificación multifamiliar, se limita a la escalera con una configuración estructural tradicional, ubicada de manera centralizada que garantiza una adecuada transferencia de cargas y estabilidad del elemento en concordancia con normativas vigentes locales, permitiendo un

enfoque de análisis exclusivo del comportamiento y desempeño diferenciado entre ambos sistemas a estudiar (Ver Figura 1).

Figura 1

Planta arquitectónica tipo, distribución interna para ambos sistemas estructurales



Modelo Estructural

El modelamiento estructural para ambos sistemas se realizó con el empleo del software de cálculo estructural SAP2000, sometiendo la estructura a simulaciones de cargas requeridas por la normativa vigente avalada por las siguientes normativas:

- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015:
- NEC15 SE DS; NEC15 SE HM; NEC 15 SE GM
- American Concrete Institute: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-19).
- American Society of Civil Engineers: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-16).
- American Institute of Steel Construction: Specification for Structural Steel Buildings (AISC360-16).

Los datos iniciales de ingreso al programa SAP2000, donde se someterá a la estructura a simulaciones de carga basadas en las normas anteriormente mencionadas son: i) MDL, caracterizando las vigas como elementos lineales (FRAME), y, para el sistema de losas y muros portantes con elementos de área (SHELL); y, ii) SP, donde se segmentó las columnas y vigas como elementos lineales (FRAME). Las losas fueron segmentadas con elementos de área (SHELL). Ver Tabla 2.

Tabla 2*Características de diseño arquitectónico básicas consideradas*

Sistema estructural	Elemento estructural	Dimensiones	Ubicación de elemento en sistema
MDL	Muros	Espesor (e) = 10cm; altura entepiso (h) = 2.50m	Fachadas y áreas interiores
	Losa Maciza	Espesor (e) = 10cm	Entrepisos
SP	Columnas	C1 = 30x30cm; altura (h) = 2.70m	Ejes perimetrales y áreas interiores
	Vigas	V1 = 20x30cm	Ejes principales
	Losa aligerada	Espesor (e) = 30cm	Entrepisos

Fase III

Esta fase esta compuesta por elementos de análisis de indicadores financieros relacionados a la puesta en obra y fase constructiva del sistema estructural, basados en precios unitarios de cada uno de los sistemas constructivos divididos en segmentos generales. Dado esto, se realizó un cuadro comparativo de la viabilidad técnica y financiera entre los sistemas de muros portantes de hormigón armado y el sistema tradicional de columnas y vigas de una construcción tipo para ambos casos.

RESULTADOS

Dentro de los resultados de la Fase I, tomando en cuenta que la muestra de una población es una representación de un subconjunto de datos (Suárez-Orrala et al., 2025), el tamaño de la misma se realizó mediante un muestreo no probailístico a juicio del investigador (Morales-Pineda et al., 2024), a través de parámetros y criterios por conveniencia de inclusión y exclusión, siendo estos: i) edad; ii) años de experiencia; iii) especialidad o profesión; y, finalmente, iv) cargo actual. Ver Tabla 3.

Tabla 3*Criterio estadístico por conveniencia, profesionales*

Nº	Criterios de inclusión y exclusión				Estado Final	
	Edad	Especialidad	Experiencia	Cargo actual	E	I
	De 30 a 50 años	Ingeniero Civil o Arquitecto	Mínimo 10 años	Supervisor o equivalente		
1	1	1	1	1		1
2	1	1	1	1		1
3	x	1	1	1	x	
4	1	1	1	1		1
5	1	1	1	1		1
6	1	1	1	1		1
7	1	x	1	1	x	
8	x	x	1	1	x	
9	1	x	1	1	x	
10	1	1	1	1		1

11	x	1	x	1	x
12	x	1	x	1	x
13	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1
17	x	1	1	x	x
18	x	1	1	x	x
19	1	x	x	1	x
20	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1
Total					9 12

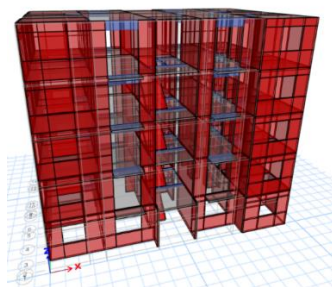
De manera similar, de la tabla 3, se puede observar que una vez incorporados y aplicados los criterios de inclusión y exclusión, finalmente fueron doce los profesionales que cumplieron los parámetros en su totalidad, de los cuales diez fueron ingenieros civiles y dos arquitectos.

La encuesta, que es un método fácil y ágil de recolección de datos (Abu-Oda et al., 2022), fue validada por el método de juicio de expertos y aplicada a los doce profesionales, cuya confiabilidad en la escala de Likert fue de 0.76, factor mayor a 0.70 y, por lo tanto, es considerado aceptable para el presente estudio (Li et al., 2024). Se destaca entre los resultados de esta fase que alrededor del 75% considera que el sistema de muros portantes (MDL) puede bajar los tiempos de construcción en comparación al sistema tradicional (SP); por otra parte el 80% establece que el sistema MDL puede encarecer costos iniciales de inversión en la construcción de proyectos en contraparte del sistema SP. De la misma manera, aunque el se considera una inversión mayor inicial, el 60% piensa que el sistema de encofrados metálicos (MDL) puede reducir significativamente el uso de encofrados de maderas.

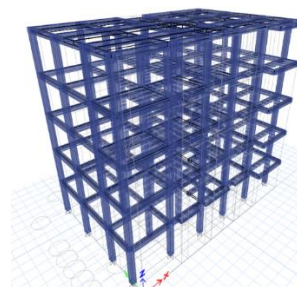
En esta sección se muestran los resultados del modelamiento estructural de la Fase II, analizados con el software SAP2000 y visualizados en la Figura 2, para los sistemas MDL y SP, respectivamente, los cuales reflejan las modalidades estructurales propuestas para realizar el análisis comparativo entre ambos sistemas constructivos propuestos y analizados que servirán de punto de partida para los análisis financieros de la Fase III.

Figura 2

Modelamiento estructural computacional. (a): sistema MDL; (b): sistema SP



(a)



(b)

Análisis comparativo estructural de los sistemas constructivos

El análisis estructural de este estudio se basó en los lineamientos que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), específicamente en el capítulo de seguridad estructural NEC 15 DS-SE de la actualización del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, (2023), la cual exige revisar parámetros para que una estructura se la considere como segura. Estos parámetros se los enuncia a continuación.

Peso Sísmico de la edificación

El peso sísmico corresponde a las masas que van a tomar parte cuando el sismo interactúe con la estructura, para la tipología se toma el 100% de las cargas muertas como lo establece la NEC-2015. En los modelos se consideró dos tipos de cargas muertas (ACI 318-19, 2019), las que son debido a su propio peso de elementos estructurales (DEAD) y las sobrepuestas (SUPERDEAD) como las producidas por los acabados e instalaciones. El cálculo del peso sísmico consideró la distribución de cargas y la correcta modelación de la estructura para garantizar un análisis preciso, (ASCE 7-22, 2022). Ver Tabla 4.

Tabla 4

Tipo de cargas aplicadas a estructuras de ambos sistemas

Tipo de cargas	Sistema	
	MDL (Ton)	SP (Ton)
Dead	403.66	278.49
Superdead	81.40	261.07
Total (Ton) =	485.06	539.56

Coefficiente de reducción de respuesta estructural R

El coeficiente de reducción de respuesta es un factor que reduce las fuerzas sísmicas y está ligado principalmente en función de la ductilidad global del sistema estructural, denotando la capacidad que tiene un sistema para disipar energía por medio de deformaciones plásticas sin pérdidas considerables de capacidad. La NEC 2015 da un valor mínimo para los dos sistemas estructurales. Ver Tabla 5.

Tabla 5

Coefficiente de reducción de respuesta estructural, R

Factor de reducción	Sistema	
	MDL	SP
R	3	5

En el diseño del sistema SP se seleccionó un R igual a 5 con el fin de asegurar el comportamiento dúctil de la estructura ante eventos sísmicos. Al aumentar el valor de R, se reduce el cortante basal de diseño, ya que la estructura tiene una mayor capacidad de disipar energía mediante deformaciones inelásticas. Sin embargo, esto implica la necesidad de cumplir con

requisitos más exigentes en el detallado del refuerzo, conexiones y uniones, para asegurar que los elementos estructurales sean capaces de desarrollar el comportamiento inelástico esperado sin comprometer la seguridad (ASCE 7-22, 2022).

Configuración estructural

La configuración estructural corresponde a un aspecto fundamental en el comportamiento sísmico de una edificación. Un sistema estructural distribuido en planta en elevación de forma correcta, minimiza concentraciones de esfuerzos y evita efectos no deseados como torsión excesiva o irregularidades en la distribución de cargas (Chopra, 2020). En el presente diseño ambos sistemas estructurales presentan una distribución arquitectónica similar, regular en su mayor parte, tanto en planta como en elevación. Por lo expuesto anteriormente, se asume el mismo factor de importancia sísmica en ambos casos, conforme lo establecido por la NEC 2015, en el capítulo NEC-15 SE-DS, ver Tabla 6.

Tabla 6
Factor de importancia, I

Factor de Importancia	Sistema	
	MDL	SP
I	1	1

Cortante basal

El cortante basal es la fuerza inercial que induce el sismo a la estructura medido en la base, depende principalmente de la masa sísmica y de la aceleración a la que es sometida la estructura (espectro de respuesta) (Chopra, 2020). Siendo la fórmula del cortante basal V , el resultado de la multiplicación de la aceleración espectral S_a y del peso W .

Deriva máxima

Corresponde a las deformaciones que experimenta la estructura (Chopra, 2020), por medio de una medida de desempeño de la misma; la NEC 2015 en su capítulo (NEC-15-SE-DS) establece un límite máximo de 2%, que representa el nivel de desempeño de seguridad de vida o prevención de colapso de la estructura.

Desplazamiento máximo

El desplazamiento máximo (da-Silva et al., 2023), corresponde a la traslación del último nivel de la estructura debido a la acción sísmica, depende de la rigidez del sistema estructural, la carga sísmica aplicada y la disipación de energía a través de deformaciones plásticas.

Coefficiente de estabilidad

Este coeficiente indica la relación entre los momentos de primer orden y los de segundo orden, causados por las deformaciones laterales y el peso de la estructura. La NEC-15-SE-DS indica que este índice debe ser menor a 0.30.

Cimentación

Para este estudio, el diseño y tipo de cimentación está restringido principalmente por la capacidad admisible del suelo y la restricción en cuanto a asentamientos diferenciales basados en los parámetros de la NEC-15-SE- DS. En este estudio, los asentamientos en los sistemas MDL y SP se controlaron mediante la incorporación de losas de cimentación; se consideró zapatas corridas en dos direcciones para el sistema SP, pero las presiones superaban a la admisible de 6.32 T/m². En base a esto, se aplicó al sistema SP el uso de vigas de cimentación peraltadas, reduciendo el efecto de punzonamiento por las cargas puntuales de los pilares. Con estos antecedentes, una vez realizado el análisis con el software computacional se obtiene el cuadro comparativo entre el sistema MDL y el sistema SP mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7

Cuadro comparativo sistema MDL vs sistema SP

Parámetros de comparación	MDL	SP	Observaciones
Carga muerta	385.82 Ton	233.57 Ton	Peso de la estructura
Carga muerta + carga muerta sobreimpuesta	485 Ton	539 Ton	Peso de la estructura + peso de acabados
Coefficiente de reducción de respuesta (R)	3	5	-
Configuración Estructural	Regular	Regular	-
Cortante basal	87.42 Ton	64.37 Ton	-
Deriva máxima Inelástica	0.035%	1.32%	-
Desplazamientos máximos en ultimo nivel	1.07 mm	34mm	-
Coefficiente de Estabilidad Q	0.002	0.04	-
Tipo Cimentación	Losa de cimentación	Losa de cimentación	-

A partir de estos resultados, para el primer ítem se puede mencionar que el sistema MDL aporta mayor masa estructural que el sistema SP; en contraparte que aunque el sistema MDL tiene mayor peso propio, el sistema SP tiene una mayor carga total, posiblemente a las cargas sobreimpuestas como las dadas por los acabados o elementos no estructurales. A su vez, para el coeficiente R, el sistema SP tiene mayor capacidad disipadora de energía debido a su ductilidad versus el sistema MDL, aunque SP sufre mayores desplazamientos. También, se menciona que el sistema MDL atrae mayor fuerza sísmica debido a su rigidez y masa superior en comparación al sistema SP. Cabe resaltar que, aunque ambos sistemas se encuentran bajo el 2% que es el índice máximo en la deriva inelástica, pero el sistema MDL ofrece un mayor rango de aceptabilidad que el sistema SP.

Finalmente, en relación al coeficiente Q, ambos sistemas se encuentran bajo el límite ($Q < 0.10$), pero el sistema SP es más susceptible bajo esta consideración. Bajo estos parámetros, ambos sistemas se encuentran dentro de los índices de aceptabilidad amparados en los criterios de la Norma Ecuatoriana de la Construcción y sus capítulos relacionados a los sistemas estructurales.

Una vez realizado el análisis estructural que cumpla con parámetros de construcción locales de la edificación de cinco niveles propuesta para los sistemas constructivos MDL y SP, se procedió a realizar los análisis comparativo y financiero de ambos sistemas, pertenecientes a la Fase III de este estudio. El análisis financiero para esta investigación se realizó mediante la evaluación de la viabilidad económica considerando los costos, ingresos y la rentabilidad, los mismos que se desglosaron en tres etapas de análisis: i) inversión inicial; ii) costos de la construcción; y, por último, iii) el financiamiento del proyecto.

Inversión inicial

Se consideró los gastos asumidos por el costo de adquisición de terreno, estudios geotécnicos, diseño, planificación y costos administrativos realizados antes de la ejecución de la obra. Para este estudio y para ambos casos de sistemas constructivos, MDL y SP, se proyectó la ubicación en un sector del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena. Ver tabla 8.

Tabla 8

Cuadro comparativo sistema MDL vs sistema SP

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Terreno	m2	466	\$850.00	\$396100.00
Estudios geotécnicos	Global	1	\$2500.00	\$2500.00
Diseño y planificación	Global	1	\$4000.00	\$4000.00
Costos administrativos	Global	1	\$3500.00	\$3500.00
			Total:	\$44000.00

Costos de la construcción

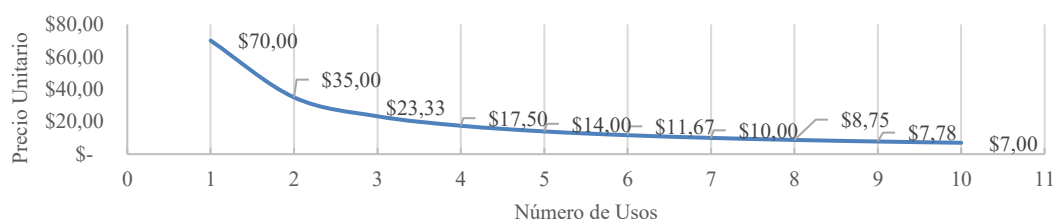
Para la ejecución del proyecto se consideraron los costos asociados a planificación, gestión y mano de obra, incluyendo los determinados por la adquisición de materiales, equipos y herramientas. Estos elementos son considerados y clasificados como costos directos en la construcción por la American Association of Cost Engineers (AACE), ya que se encuentran vinculados directamente con el presupuesto de ejecución del proyecto de construcción. La tabla 9, muestra el resumen de estos costos para el sistema MDL, donde se utilizó encofrados de muros tipo “forza”, y el sistema SP.

Tabla 9*Costos directos del sistema MDL vs sistema SP*

Descripción	MDL	SP	Diferencia
Total	\$ 269.766,36	\$ 493.482,14	\$ -223715.78
Tiempo de construcción	6 meses	9 meses	
Costo por m2 de construcción	\$ 487,56	\$ 891,88	

Adicionalmente, la tabla 9 muestra los resultados de las inversiones iniciales, principalmente en los rubros destinados a estructuras de hormigón, los mismos que reflejan una diferencia clara entre el sistema MDL y el sistema SP, representando un ahorro del 24.76% a favor del sistema MDL. De manera similar, en los rubros destinados a albañilería existe un ahorro de alrededor del 94% al utilizar el sistema MDL, relacionándolo con el uso de encofrados metálicos en serie, siendo el factor de reutilización un punto clave en este ahorro. En total, para el sistema MDL existe un ahorro en los costos directos de alrededor del 45%, más aún como se puede observar en los costos por metro cuadrado de construcción, convirtiéndolo en un factor clave para la propuesta de utilización e implementación de este sistema.

Cabe recalcar que se realizó un análisis del rendimiento en el uso de formaleas metálicas con respecto a la inversión y el número total de fundiciones modulares, como se puede observar en la figura 3, donde la curva indica que mientras más usos tenga el encofrado metálico, utilizado por medio de módulos en el sistema MDL, más representativo será el ahorro y por efectos de presupuesto, su costo financiero será menor. Es necesario mencionar, que para el presente estudio dado que la edificación posee cinco niveles, el costo solamente por cinco usos (uno por cada nivel) para un solo edificio sería de alrededor de \$14,00 por metro cuadrado de área de encofrado, por lo que se consideró su uso extendido en seis próximas edificaciones que necesariamente deberán contar con características similares y sin que afecte su acabado final. Este valor se lo desarrolló en los análisis de precios unitarios realizados para este rubro.

Figura 3*Precio unitario por m2 vs número de usos, sistema MDL*

Por otro lado, la tabla 10 indica los valores por concepto de los costos indirectos incurridos para cada sistema que representa el 30% del presupuesto total, tanto para el sistema

constructivo con MDL como del SP, mostrando una inversión mayor de recursos financieros para el segundo sistema en un 45.49%.

Tabla 10

Costos indirectos del sistema MDL vs sistema SP

COSTOS INDIRECTOS	%	MUROS	PORTICOS	DIFERENCIA
Planificación	4%	\$ 10.790,65	\$ 19.739,29	\$ -8.948,63
Ejecución	12%	\$ 32.371,96	\$ 59.217,86	\$ -26.845,89
Tasas e impuestos	4%	\$ 10.790,65	\$ 19.739,29	\$ -8.948,63
Comercialización	7%	\$ 18.883,65	\$ 34.543,75	\$ -15.660,10
Imprevistos	3%	\$ 8.092,99	\$ 14.804,46	\$ -6.711,47
SUBTOTAL	30%	\$ 80.929,90	\$ 148.044,64	\$ -67.114,73

Financiamiento del proyecto

Para este estudio se estableció que el 100% de los departamentos disponibles, de un total de diez, debería estar vendido antes de finalizar el proyecto de construcción. En contraparte, de acuerdo al sistema constructivo propuesto, se deberá contar con al menos el 20% de recursos financieros del total presupuestado para el inicio del proyecto para el sistema SP, y el 16% para el sistema MDP.

Tabla 11

Costos por departamento del sistema MDL vs sistema SP

Datos generales	Área	Cantidad	Costo Sistema MDL	Costo Sistema SP
Departamento modelo 1	52.63 m2	5	\$25.660,02	\$46.939,08
Departamento modelo 2	55.50 m2	5	\$27.059,31	\$49.499,34

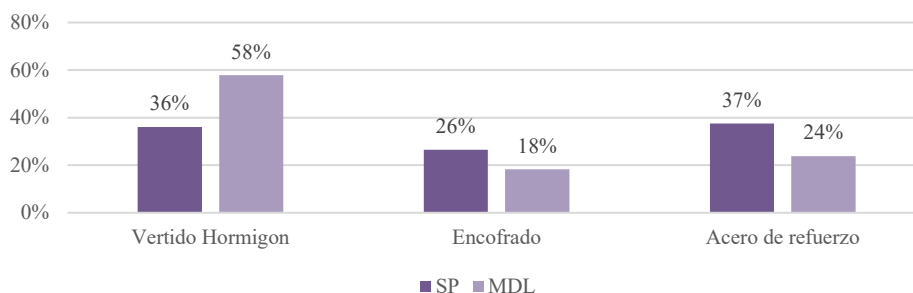
La tabla 11, muestra los valores del costo de los dos departamentos modelos (1 y 2) que existen por piso de la edificación de cinco niveles para ambos sistemas, existiendo una diferencia del 45.33%, es decir, el sistema SP mantiene costos más elevados en relación al sistema MDL

Evaluación de rentabilidad

Para la evaluación de la rentabilidad R en ambos proyectos, se realizó inicialmente un análisis financiero con los valores de inversión, realizando previamente un presupuesto general de obra con cada uno de los rubros necesarios que sirvan como base para este apartado, obteniendo hallazgos sustanciales en tres de sus componentes principales: i) estructura de hormigón; ii) albañilería; y, iii) pintura.

Figura 4

Rubros de estructura de hormigón con variaciones notables, en los sistemas SP y MDL

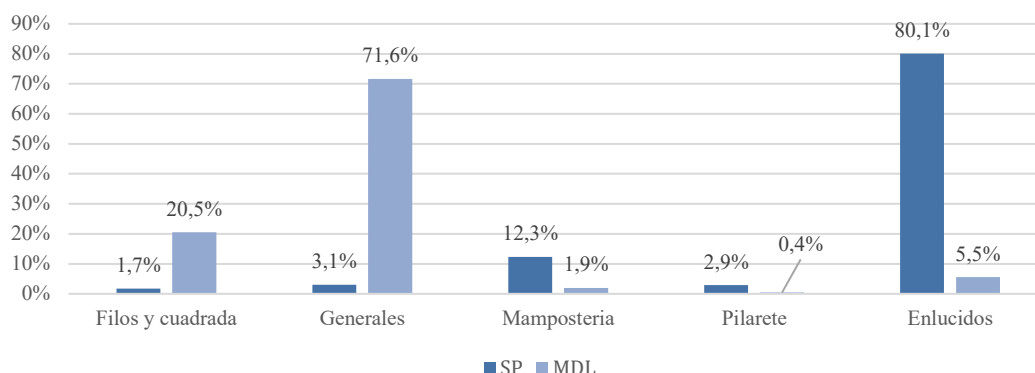


En la figura 4, se puede apreciar la diferencia de la inversión en porcentajes en tres rubros que componen la estructura de hormigón para ambos sistemas; mientras que para el vertido de hormigón el sistema MDL ocupa un 58% de su presupuesto de inversión, en el sistema SP representa un 36%; caso contrario ocurre con los rubros de encofrado y acero de refuerzo, cuyos porcentajes de inversión son menores con un 18% y 24% para el sistema MDL en comparación al 26% y 37%, respectivamente, invertidos en el sistema SP.

Los valores porcentuales de los rubros que componen la albañilería se encuentran en la figura 5, que aunque las inversiones son mayores en rubros como los generales y filos para el sistema MDL, estos valores disminuyen sustancialmente en los rubros de mampostería y enlucidos, con un 1.9% y 5.5%, respectivamente, en comparación con el 12.3% y 80.1% que ocuparía el sistema SP. Tal es el caso, que los valores de inversión para rubros como pilaretes son mínimos como el 0.4% indicado para el sistema MDL, en contraste al 2.9% que necesitaría el sistema tradicional SP. Es necesario mencionar que, en el rubro *generales* donde se encuentran los resanes, el valor porcentual es mayor en el sistema MDL con respecto al SP en un 68.5%, ya que por efectos del sistema constructivo aparecen ranuras verticales o “corbatas”, que deben resanarse al culminar la fundición.

Figura 5

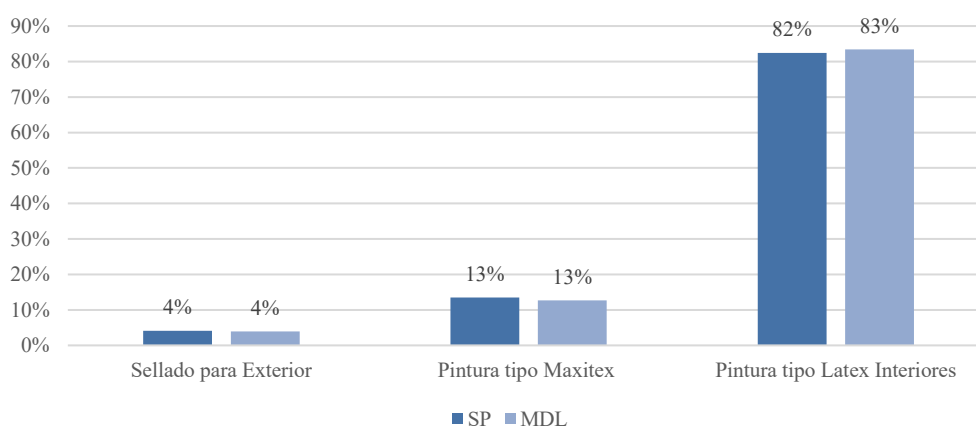
Rubros de albañilería con variaciones notables, en los sistemas SP y MDL



Por otra parte, la figura 6 muestra rubros de pintura que corresponde a uno de los componentes de los acabados y finales dentro del proceso de construcción de esta edificación de cinco niveles, que para los tres rubros presentados no existe mayor variación porcentual entre los dos sistemas aplicados, esto se debe a que las áreas de aplicación son similares, tanto para el sistema SP como para el sistema MDL.

Figura 6

Rubros de pintura con variaciones notables, en los sistemas SP y MDL



Una vez identificados los rubros que influyen de manera significativa en la variación de costos e inversión para ambos sistemas constructivos propuestos, MDL y SP, se procedió al cálculo de indicadores financieros por medio de la realización del análisis de sensibilidad. Este análisis, reflejo hallazgos importantes en relación a siete aspectos importantes: i) costo total de construcción; ii) valor anual neto, VAN; iii) utilidad; iv) rentabilidad; v) margen; vi) tasa interna de retorno, TIRanual; y finalmente, vii) la tasa de retorno de inversión, ROI, como se puede apreciar en la tabla 12.

Tabla 12*Costos e indicadores por departamento entre sistema MDL vs sistema SP*

Descripción	MDL	SP	% beneficio
Costo total de construcción	\$ 350.696,27	\$ 641.526,79	-
VAN	\$ 248.886,57	\$ 235.571,38	-
Utilidad	\$ 269.881,73	\$ 251.278,66	-
Rentabilidad	33,03%	24,22%	9%
Margen	24,83%	19,50%	5%
TIR anual	20,02%	37,32%	-17%
ROI	33%	24%	9%
Tiempo de ejecución de obra, meses	6	9	33%

Adicionalmente, estos hallazgos sugieren que la *rentabilidad* obtenida al implementar el sistema MDL alcanza un 33,03% versus el 24,22% si se opta por el sistema SP, logrando una diferencia significativamente mayor del 8,81% a favor del primero. Además, el *margen* de beneficio también es favorable para el sistema MDL con un 24,83% en comparación del 19,50% del SP. Es necesario recalcar, que una vez realizado este análisis, el TIR anual para el sistema SP es mayor al MDL en un 17,30%; mientras que el indicador establecido por el ROI se mantiene mayor a favor del sistema MDL en un 9% respecto al sistema SP.

Ambas propuestas presentan valores de inversión que se diferencian en segmentos importantes tales como el hormigón, acero y albañilería, los mismos que representan una cifra importante dentro de los rubros que se ejecutan dentro de la construcción de edificaciones tipo viviendas multifamiliares de varios pisos, por lo que la selección de uno de los dos sistemas, MDL o SP, va a ser crucial al momento de tomar en cuenta parámetros financieros y de ejecución. Esta selección del sistema más idóneo, también incide en los tiempos de ejecución de proyecto de construcción, factor clave para poder realizar los análisis de sensibilidad y obtener los respectivos indicadores financieros anteriormente descritos.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio revelan que la implementación del sistema de muros portantes de ductibilidad limitada, MDL, presenta ventajas significativas en términos de rentabilidad y eficiencia en comparación con el sistema de pórticos, SP, método constructivo considerado como tradicional en viviendas unifamiliares y multifamiliares en el cantón Santa Elena. La rentabilidad de la implementación del sistema MDL, calculada en un 33,03%, supera a la obtenida por el

sistema SP que es de un 24,22%, con una diferencia del 9% a favor del sistema MDL, resultado respaldado por lo encontrado por Galindo-Caicedo et al., (2021), quien en su estudio en una vivienda de interés social con metodologías constructivas similares, obtuvo un beneficio del 3%; estos criterios a su vez se soportan de la revisión de literatura y acogidos por los autores Jegen et al., (2025) y Sharafi et al., (2018), quienes mencionan la necesidad de promover la búsqueda de sistemas eficientes y la optimización de recursos en el sector de la construcción.

Estos hallazgos también apuntan a la superioridad financiera de la implementación del sistema MDL, pero también es importante considerar las implicaciones a largo plazo en la vida útil de la edificación, aspecto fundamental para los autores Sah et al., (2024) y Dormohamadi et al., (2024). De igual manera, aunque la resistencia de los sistemas constructivos tradicionales frente a nuevas implementaciones es un desafío (Lopes Dias, 2024), la evidencia encontrada de la rentabilidad puede servir como argumento sólido para la adopción del sistema MDL en el ámbito local.

La viabilidad en términos financieros del sistema MDL, manifestada en los indicadores de rentabilidad y el margen de beneficio, también se ve reflejada en el análisis de los rubros claves dentro del proceso constructivo. Por otro lado, aunque ambos sistemas, MDL y SP, poseen rentabilidad mayor al 20%, la optimización en el consumo de hormigón y acero en combinación con la eficiencia en los procesos de ejecución de albañilería en el sistema MDL, se traducen eficazmente en la reducción de costos de construcción. Lopes Dias, (2024), mencionan que obtener una mayor eficiencia y un retorno de inversión más rápido son aspectos cruciales, coincidiendo con Edlebi et al., (2024), que con la reducción de tiempos de ejecución, que para este estudio es favorable para el sistema MDL, por lo que reduce en tres meses a su contraparte analizada, como es el sistema SP, que necesita nueve meses para poder culminar con la totalidad del proyecto, traduciendo en una reducción del 33% de recursos de mano de obra y administrativos, porcentaje similar al obtenido por los autores Arengo Piragine et al., (2020) en su estudio comparativo utilizando paneles tipo steel framing.

La durabilidad y el rendimiento estructural del sistema MDL, así como su posible impacto ambiental a lo largo de su vida útil merecen una evaluación y análisis más profundo, donde futuras investigaciones también podrían enfocarse en este análisis comparativo entre los sistemas MDL y SP, que incluyan la huella de carbono y desde el punto de vista de extracción de materiales hasta su disposición final en obra. Sería importante incorporar guías de implementación detalladas basadas en la región y la disponibilidad de materiales en el lugar de construcción de edificaciones con el sistema MDL.

CONCLUSIONES

Esta investigación contempla la viabilidad del uso de sistemas constructivos eficientes, como lo es el sistema de muros portantes de ductibilidad reducida, MDL, en comparación a

sistemas tradicionales, por lo que un análisis exhaustivo de literatura de artículos científicos de bases de datos de alto impacto a nivel global, regional y local, sirvieron como parámetros de partida claves para el desarrollo óptimo del presente estudio.

Este estudio demostró la viabilidad financiera y las bondades técnicas del sistema de muros portantes con ductibilidad limitada versus el sistema de pórticos utilizada convencionalmente para la construcción de edificaciones con fines de viviendas multifamiliares en el cantón Santa Elena, Ecuador. Los resultados cuantitativos revelan que el MDL ofrece una rentabilidad del 33,03% y un margen de beneficio del 24,83%, valores superiores a los obtenidos por el sistema SP. Esta ventaja significativa se atribuye a la optimización de recursos claves en los rubros que contienen hormigón y acero, y a una mayor gestión eficiente en los procesos constructivos.

Finalmente, la implementación del sistema MDL representa una alternativa viable y económica para la industria de la construcción local, contribuyendo a la mejora de prácticas constructivas y a la optimización de recursos, concluyendo que la selección del sistema de muros portantes sería crucial para mejorar los índices de rentabilidad de los proyectos de edificaciones, a su vez que ofrece una pauta hacia prácticas más eficientes y competitivas en el sector de la vivienda.

REFERENCIAS

- Abu Oda, M. M. A., Tayeh, B. A., Alhammadi, S. A., & Abu Aisheh, Y. I. (2022). Key indicators for evaluating the performance of construction companies from the perspective of owners and consultants. *Results in Engineering*, 15, 100596. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100596>
- ACI 318-19. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318- 19) and Commentary (ACI 318R-19)*.
- AGUADO BENITO, J. A. (2020, March 4). Fisac, construcción por analogías. Hormigón armado y bóvedas tabicadas. *Libro de Actas - IX Congreso Internacional Arquitectura Blanca*. <https://doi.org/10.4995/CIAB9.2020.10616>
- Altaba, P. (2022). *Introducción a los recursos técnicos y medios auxiliares en edificación*. Universitat Jaume I. <https://doi.org/10.6035/Sapientia187>
- Anil K. Chopra. (2020). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (Pearson (ed.); Fifth Edit).
- Arengo Piragine, V., Breard, J. C., & Pilar, C. (2020). Anteproyecto de viviendas sociales con Steel Framing en Corrientes. Comparación con sistema húmedo tradicional. *Arquitecto*, 15, 37. <https://doi.org/10.30972/arq.0154386>
- ASCE 7-22. (2022). *American Society of Civil Engineers (ASCE) for minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*.
- Cvetković, R., Blagojević, P., & Brzev, S. (2024). Seismic Design of a Typical Mid-Rise Residential Building in Serbia Using Confined Masonry and Reinforced Concrete Frame Systems. In *Buildings* (Vol. 14, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/buildings14020368>
- da Silva, A. H. A., Tsiavos, A., & Stojadinović, B. (2023). Ductility-strength and strength-ductility relations for a constant yield displacement seismic design procedure. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21(9), 4449–4479. <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01683-1>
- Dormohamadi, M., Rahimnia, R., & Bunster, V. (2024). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of different walling materials with an environmental approach (comparison between earth-based vs. conventional construction techniques in Iran). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29(3), 355–379. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02259-6>
- Edlebi, G., Masri, A., Baalbaki, O., & Wehbi, N. (2024). Experimental and numerical investigation on the behavior of reinforced concrete walls strengthened by steel members. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25(3), 2761–2774. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00943-4>
- Eijkman Schnell, R. (2024). instalaciones como oportunidad de proyecto en edificios de vivienda. *ANALES DE ARQUITECTURA UC*, 6, 154–161. <https://doi.org/10.7764/AA.2024.18>

- Esteban Orellana Jara, A. I., & Sebastián Maldonado Noboa, J. I. (2022). Comportamiento estructural de muros portantes Structural behavior of bearing walls Comportamento estrutural das paredes do rolamento Ciencias Técnicas y Aplicadas Artículo de Investigación. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 7, Nº. 10 (OCTUBRE 2022), 2022, Págs. 1687-1709, 7(10), 1687–1709. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i10>
- Firoozi, A. A., Oyejobi, D. O., & Firoozi, A. A. (2025). Innovations in energy-efficient construction: Pioneering sustainable building practices. *Cleaner Engineering and Technology*, 26, 100957. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.100957>
- Galindo Caicedo, P. A., Monroy Vargas, E. R., Rodríguez Rueda, V., Casadiego, E., Espítia Nery, M., & Vargas, N. (2021). Sostenibilidad financiera de los sistemas estructurales de muros de carga y mampostería en proyectos de interés social. *INVENTUM*, 16(30), 12–19. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.16.30.2021.12-19>
- Guaygua, B., Sánchez-Garrido, A. J., & Yepes, V. (2023). A systematic review of seismic-resistant precast concrete buildings. *Structures*, 58, 105598. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105598>
- Jegen, P., Gast, L., & Faulstich, M. (2025). A review of the implementation of R-imperatives in circular construction. *Cleaner Production Letters*, 8, 100097. <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2025.100097>
- Li, C. Z., Tam, V. W., Hu, M., & Zhou, Y. (2024). Lean construction management: A catalyst for evaluating and enhancing prefabricated building project performance in China. *Journal of Building Engineering*, 94, 109930. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109930>
- Lopes Dias, T. (2024). El diseño arquitectónico en la prefabricación pesada. Oriol Bohigas y el debate sobre la industrialización de la construcción (1960-80). *Informes de La Construcción*, 76(574), 6586. <https://doi.org/10.3989/ic.6586>
- Macias, J., Iturburu, L., Rodriguez, C., Agdas, D., Boero, A., & Soriano, G. (2017). Embodied and operational energy assessment of different construction methods employed on social interest dwellings in Ecuador. *Energy and Buildings*, 151, 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.016>
- Medina, J. M., García, J., & Rodríguez, J. A. (2023). Modularidad y prefabricación abovedada. Colombia como germen de una tradición moderna. La experiencia bogotana y su influencia en Latinoamérica. *Dearq*, 25, 44–53. <https://doi.org/10.18389/dearq25.2019.04>
- Meire, C., Liñares, P., & Hermo, V. (2024). El Sistema constructivo modular Walluminium, análisis de la envolvente hermética y termoacústica y su sistema de producción. *Informes de La Construcción*, 76(573), 6451. <https://doi.org/10.3989/ic.6451>
- Meire Montaña, C., Linhares, P., & Hermo Sánchez, V. (2023). Método para la dirección de obra de viviendas modulares pasivas. *Informes de La Construcción*, 75(572), e520.

<https://doi.org/10.3989/ic.6452>

- Ministerio de Desarrollo urbano y vivienda. (2022). *PLAN NACIONAL DE HÁBITAT Y VIVIENDA 2021 – 2025*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/>
- Ministerio de Desarrollo urbano y vivienda. (2024). *INFORME DE SEGUIMIENTO AL PLAN SECTORIAL MIDUVI 2021-2025. CORTE DE INFORMACIÓN AÑO 2023*. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/09/informe_de_seguimiento_al_plan_sectorial_miduvi_2023_-signed-signed-signed.pdf
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2023). *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Morales Pineda, D. A., Uriguen Aguirre, P. A., & Señalín Morales, L. O. (2024). El presupuesto y el control de los costos de producción de una empresa en la provincia de El Oro. *Religación*, 9(40), e2401234. <https://doi.org/10.46652/rgn.v9i40.1234>
- Moscoso-Fernandez, J. F. (2022). *Capacidad sísmica de muros de hormigón armado dañados y rehabilitados* [Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ING/66840>
- Naranjo Escudero, E. (2022). La vivienda progresiva como estrategia arquitectónica para el crecimiento informal de la periferia en América Latina. *Astrágalo. Cultura de La Arquitectura y La Ciudad*, 30, 155–172. <https://doi.org/10.12795/astragalo.2022.i30.09>
- Pérez-Valcárcel, J., Muñoz-Vidal, M., & Hermo, V. (2020). Construcción izada: Condicionantes estructurales del sistema REVERSTOP. *Informes de La Construcción*, 72(559), e355. <https://doi.org/10.3989/ic.72993>
- Sah, T. P., Lacey, A. W., Hao, H., & Chen, W. (2024). Prefabricated concrete sandwich and other lightweight wall panels for sustainable building construction: State-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, 89, 109391. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109391>
- Sánchez-Garrido, A. J., Navarro, I. J., García, J., & Yepes, V. (2023). A systematic literature review on modern methods of construction in building: An integrated approach using machine learning. *Journal of Building Engineering*, 73, 106725. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106725>
- Sánchez Molina, A. A., & Murillo Garza, A. (2021). Enfoques metodológicos en la investigación histórica: cuantitativa, cualitativa y comparativa. *Debates Por La Historia*, 9(2), 147–181. <https://doi.org/10.54167/debates-por-la-historia.v9i2.792>
- Sharafi, P., Nemati, S., Samali, B., & Ghodrat, M. (2018). Development of an Innovative Modular Foam-Filled Panelized System for Rapidly Assembled Postdisaster Housing. *Buildings*, 8(8), 97. <https://doi.org/10.3390/buildings8080097>
- Suárez Orrala, M. J., Pérez Panchez, L. M., Ordóñez Pinargote, L. C., & Muyulema Allaica, J. C.

- (2025). Propuesta de marco para una gestión eficiente en empresas de construcción. *Arandu UTIC*, 12(1), 1445–1466. <https://doi.org/10.69639/arandu.v12i1.688>
- Super Intendencia de Compañías, V. y S. (2024). *Ranking de Compañías. Obtenido de Supeintendencia de Compañías, Valores y Seguros*. <https://appscvsmovil.supercias.gob.ec/ranking/reporte.html>
- The World Bank. (2024). *Informe anual 2024 del Banco Mundial*. www.bancomundial.org/es/about/annual-report
- Viera Arroba, L. P. (2023). *Factibilidad constructiva de viviendas con muros portantes de fardos de paja energéticamente eficientes y sismo resistentes en la zona andina del Ecuador* [Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/196654>
- Wang, J., & Ng, Y. Y. E. (2023). Post-earthquake housing recovery with traditional construction: A preliminary review. *Progress in Disaster Science*, 18, 100283. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2023.100283>