



Resistencia sísmica en elementos estructurales de núcleos rígidos versus muros estructurales en un edificio multifamiliar en la ciudad de Huancayo

Seismic resistance in structural elements of rigid cores versus structural walls in a multi-family building in the city of Huancayo

 Jose Antonio Condor Socualaya
Universidad continental, Perú

 Christian Edinson Murga Tirado
Universidad continental, Perú

 Miguel Angel Condor Vasquez
Universidad continental, Perú

Resumen

La investigación presentada tuvo como objetivo general evaluar la viabilidad técnica de la aplicación del sistema de núcleo rígido mediante su comparación con el sistema de muros estructurales en un edificio multifamiliar ubicado en la ciudad de Huancayo. La metodología empleada se aplicó en un diseño no experimental y descriptivo-comparativo. Se procedió al modelamiento numérico en el software ETABS de dos configuraciones estructurales para una misma arquitectura de diez niveles sobre un suelo tipo S2 en la Zona Sísmica 3: el Modelo A (Muros Estructurales de rigidez distribuida) y el Modelo B (Núcleo Rígido de rigidez centralizada), ambos diseñados bajo los lineamientos de la Norma Técnica E.030 y E.060. Los resultados del análisis estático y dinámico evidenciaron diferencias significativas en el comportamiento mecánico. El sistema de núcleo rígido generó un incremento del 14.34% en la masa sísmica total, lo que conllevó a una fuerza cortante basal de 257.14 Tonf, superando en 32.25 Tonf a la demanda del sistema convencional. En términos de rigidez lateral, el núcleo rígido mostró una mayor flexibilidad, registrando distorsiones angulares de entrepiso (derivas) superiores a las del sistema de muros. Específicamente en la dirección transversal, el núcleo alcanzó una deriva inelástica de 0.0070, situándose en el límite máximo permitido por la normativa peruana. Se concluye que la aplicación del núcleo rígido es técnicamente viable al cumplir estrictamente con los controles de seguridad, aunque estructuralmente resulta menos eficiente y más exigente que el sistema de muros, justificándose su uso principalmente por ventajas de funcionalidad arquitectónica y liberación de espacios.

Palabras claves: Diseño sísmico, núcleo rígido, muros estructurales, derivas de entrepiso.

Abstract

The general objective of this research was to evaluate the technical feasibility of applying a rigid core system by comparing it to a structural wall system in a multi-family building located in the city of Huancayo. The methodology employed was a non-experimental, descriptive-comparative design. Numerical modeling was performed using ETABS software on two structural configurations for the same ten-story building on S2 soil in Seismic Zone 3: Model A (Distributed Stiffness Structural Walls) and Model B (Centralized Stiffness Rigid Core), both designed according to the guidelines of Technical Standards E.030 and E.060. The results of the static and dynamic analyses showed significant differences in mechanical behavior. The rigid core system generated a 14.34% increase in total seismic mass, resulting in a base shear force of 257.14 Tonf, exceeding the demand of the conventional system by 32.25 Tonf. In terms of lateral stiffness, the rigid core exhibited greater flexibility, registering higher interstory drifts (angles of drift) than the wall system. Specifically, in the transverse direction, the core reached an inelastic drift of 0.0070, placing it at the maximum limit permitted by Peruvian regulations. It is concluded that the application of the rigid core is technically feasible, strictly adhering to safety controls, although structurally it is less efficient and more demanding than the wall system. Its use is justified primarily by advantages in architectural functionality and space optimization.

Keywords: Seismic design, rigid core, structural walls, interstory drift.





Introducción

La seguridad estructural constituye un elemento fundamental para el desarrollo sostenible de la sociedad, especialmente en países expuestos a fenómenos sísmicos. A nivel mundial, la búsqueda de elementos estructurales más eficientes y resistentes ha impulsado la evolución de alternativas que permitan garantizar la estabilidad de las edificaciones [1]. Tradicionalmente, sistemas como la albañilería confinada o los pórticos han ofrecido soluciones, aunque con limitaciones claras frente a sollicitaciones sísmicas intensas: la primera con reducida ductilidad y la segunda con elevada flexibilidad, si bien disipa energía, puede incrementar los desplazamientos laterales [2].

Ante esta realidad, los muros estructurales y los núcleos rígidos se han consolidado como opciones más robustas en edificaciones de mediana y gran altura, contribuyendo a mejorar la capacidad de respuesta sísmica.

En el caso del Perú, la condición de ubicarse en el Cinturón de Fuego del Pacífico lo convierte en un país altamente vulnerable a eventos sísmicos. La Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente establece parámetros exigentes para mitigar los riesgos, fomentando la aplicación de sistemas estructurales que combinen seguridad, eficiencia y viabilidad constructiva [3].

En este escenario, los muros estructurales destacan como dos de las alternativas más utilizadas. Sin embargo, la falta de estudios comparativos detallados que analicen sus ventajas, limitaciones y desempeño en diferentes escenarios sísmicos genera incertidumbre en la aplicación. En la ciudad de Huancayo, donde el crecimiento urbano ha promovido la construcción de edificios multifamiliares, esta situación representa un riesgo a la sociedad, al no estar garantizada la aplicación de la ingeniería estructural [4].

La relevancia de esta investigación radica en su aporte teórico, práctico y metodológico. Desde el ámbito teórico, permitirá ampliar el conocimiento disponible en torno a la comparación entre núcleos rígidos y muros estructurales, un tema escasamente abordado el contexto nacional y regional [5].

Desde la perspectiva práctica, proporcionará a los ingenieros herramientas técnicas para la toma de decisiones, basadas en análisis cuantitativos y simulaciones sísmicas, que optimicen la seguridad, la eficiencia estructural y los costos de construcción en edificaciones multifamiliares. Metodológicamente, el estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo y explicativo, apoyado en modelaciones matemáticas y computacionales, lo que asegura objetividad y resultados verificables [6].

Materiales y Métodos

La presente investigación se fundamenta en los siguientes materiales y métodos empleados.

Técnica	Instrumento Principal (Software / Documento)	Propósito Específico en la Investigación
Revisión Documental y Parametrización	<p>Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente).</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Norma Técnica E.060 (Concreto Armado). ✓ Estudio de Mecánica de Suelos (para Huancayo). 	<p>Recolectar los datos de entrada (parámetros) para la simulación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Parámetros Sísmicos (Huancayo): Zona (Z), Tipo de Suelo (S), Perfil de Suelo. ✓ Materiales: Propiedades del concreto y acero. ✓ Cargas: Metrado de cargas muertas (CM) y vivas (CV).
Modelado y Simulación	Software ETABS (Análisis por Elementos Finitos - FEA).	<p>Crear los modelos: Desarrollar dos modelos tridimensionales idénticos del edificio multifamiliar (Variable Independiente):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Modelo A: Sistema de Núcleos Rígidos. 2. Modelo B: Sistema de Muros Estructurales.
Análisis Sísmico	Módulos de análisis de ETABS (Ej. Análisis Dinámico Modal Espectral).	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Simular el "efecto": Someter ambos modelos a las cargas sísmicas definidas para Huancayo. ✓ Generar los datos brutos de la respuesta estructural (Variable Dependiente).
Recolección de Datos de Simulación	Reportes y tablas de ETABS. ✓ Hojas de Cálculo.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Extraer los resultados (datos cuantitativos): Registrar y tabular las variables clave de respuesta sísmica para la comparación: ✓ Derivas de entrepiso. ✓ Desplazamientos máximos. ✓ Cortante basal. ✓ Esfuerzos en elementos críticos.



Procedimiento

El procedimiento iniciará con la recolección de los datos de entrada (parámetros) mediante la técnica de revisión documental. Se recopilarán las especificaciones técnicas, planos arquitectónicos y estructurales del edificio multifamiliar base.

Paralelamente, se extraerán los parámetros sísmicos y geotécnicos específicos para la ciudad de Huancayo, consultando la Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente) y el Estudio de Mecánica de Suelos correspondiente para definir la zona, tipo de suelo y factores de sitio.

Finalmente, se definirán las propiedades de los materiales y los metrados de cargas (muertas y vivas) según la Norma E.020 y E.060, asegurando que ambos modelos comparativos partan de las mismas condiciones de carga.

Una vez ingresados los parámetros, se ejecutará la fase experimental utilizando el software ETABS como instrumento central de análisis.

La recolección de los datos de salida (resultados) se realizará mediante la extracción sistemática de los reportes generados por el programa tras la ejecución del análisis sísmico dinámico en ambos modelos (núcleos rígidos y muros estructurales). Se registrarán y tabularán en hojas de cálculo (Microsoft Excel) los valores cuantitativos de la respuesta estructural (variable dependiente), enfocándose

principalmente en: derivas de entrepiso, desplazamientos máximos, cortante basal y esfuerzos en los elementos.

Esta data numérica constituirá la base para el análisis comparativo y la validación de las hipótesis.

Resultados

Los resultados evidencian una relación proporcional y directa entre el incremento de masa y la fuerza sísmica lateral. La implementación del Modelo B (Núcleo Rígido), al implicar una mayor densidad de muros de concreto y losas macizas en la zona central, genera un aumento del peso total de la edificación en un 14.34%. Dado que los parámetros sísmicos de sitio (Z , U , S) y los factores de amplificación (C) se mantuvieron constantes en su valor máximo para ambos casos, este incremento de peso se traduce matemáticamente en una fuerza cortante basal 32.25 Tonf mayor que la del sistema convencional. Desde el punto de vista del diseño, esto implica que el sistema de Núcleo Rígido "paga una penalidad" de mayor fuerza inercial a cambio de sus beneficios arquitectónicos. La estructura deberá ser capaz de disipar esta energía adicional sin sufrir daños severos. No obstante, una mayor fuerza cortante no necesariamente implica un peor comportamiento; la clave radicará en la rigidez que ofrece el núcleo para controlar que esta fuerza no genere desplazamientos excesivos, aspecto que será evaluado a continuación en el análisis dinámico y de derivas.

Resultados del análisis estático

Tabla 01: Cuadro comparativo de Cortantes basal de los modelos A y B.

Parámetro Evaluado	Unidad	Modelo A (Muros Estructurales)	Modelo B (Núcleo Rígido)	Variación (A)
Peso Sísmico Total (P)	Tonf	1340.94	1533.27	+ 14.34 %
Cortante Basal en X (V_x)	Tonf	224.89	257.14	+ 14.34 %
Cortante Basal en Y (V_y)	Tonf	224.89	257.14	+ 14.34 %
Momento de Volteo Máx. (M_z)	Tonf.m	2219.00	2542.05	+ 14.56 %

Tabla 02: Derivas del análisis estático del núcleo estructural eje x-x.

Análisis en Dirección X-X					
Nº de Piso	Norma E.030 Artículo 31		Altura "h" (m)	Distorsión de Entrepiso	Verificación de Deriva
	Δ absoluto (m)	Δ relativo (m)			
6	0,0199	0,0039	3,00	0,00584	Si Cumple
5	0,0160	0,0036	3,00	0,00546	Si Cumple



4	0,0124	0,0035	3,00	0,00521	Si Cumple
3	0,0089	0,0034	3,00	0,00512	Si Cumple
2	0,0055	0,0032	3,00	0,00483	Si Cumple
1	0,0022	0,0022	4,00	0,00253	Si Cumple

Tabla 03: Derivas del análisis estático del núcleo estructural eje y-y

Análisis en Dirección Y-Y					
Nº de Piso	Norma E.030 Artículo 31		Altura "h" (m)	Distorsión de Entrepiso	Verificación de Deriva
	Δ absoluto (m)	Δ relativo (m)			
6	0,0243	0,0030	3,00	0,0045	Si Cumple
5	0,0213	0,0043	3,00	0,0065	Si Cumple
4	0,0170	0,0045	3,00	0,0067	Si Cumple
3	0,0125	0,0046	3,00	0,0070	Si Cumple
2	0,0078	0,0047	3,00	0,0070	Si Cumple
1	0,0032	0,0032	4,00	0,0036	Si Cumple

Tabla 04: Derivas del análisis estático del muro estructural eje x-x

Análisis en Dirección X-X					
Nº de Piso	Norma E.030 Artículo 31		Altura "h" (m)	Distorsión de Entrepiso	Verificación de Deriva
	Δ absoluto (m)	Δ relativo (m)			
6	0,0167	0,0026	3,00	0,00384	Si Cumple
5	0,0142	0,0028	3,00	0,00423	Si Cumple
4	0,0113	0,0031	3,00	0,00467	Si Cumple
3	0,0082	0,0032	3,00	0,00481	Si Cumple
2	0,0050	0,0030	3,00	0,00443	Si Cumple
1	0,0021	0,0021	4,00	0,00232	Si Cumple

Tabla 05: Derivas del análisis estático del muro estructural eje y-y.

Análisis en Dirección Y-Y					
Nº de Piso	Norma E.030 Artículo 31		Altura "h" (m)	Distorsión de Entrepiso	Verificación de Deriva
	Δ absoluto (m)	Δ relativo (m)			
6	0,0217	0,0035	3,00	0,0053	Si Cumple
5	0,0182	0,0036	3,00	0,0053	Si Cumple



4	0,0146	0,0040	3,00	0,0059	Si Cumple
3	0,0107	0,0041	3,00	0,0061	Si Cumple
2	0,0066	0,0038	3,00	0,0057	Si Cumple
1	0,0028	0,0028	4,00	0,0031	Si Cumple

Resultados del análisis dinámico

Tabla 06: Cortante del análisis dinámico del núcleo estructural eje y-y /x-x.

Nº de Piso	Dirección X-X			Dirección Y-Y		
	Vx (Ton)	Fx (Ton)	T (Ton.m)	Vy (Ton)	Fy (Ton)	T (Ton.m)
6	33,21	33,21	312,24	34,25	34,25	245,23
5	86,45	86,45	725,66	88,74	88,74	648,98
4	123,54	37,09	1058,65	126,98	38,24	967,85
3	149,58	26,04	1335,13	147,25	20,27	1199,53
2	171,37	21,79	1478,03	168,59	21,34	1372,54
1	177,25	5,89	1578,26	180,35	11,76	1459,16

Tabla 07: Cortante del análisis dinámico del muro estructural eje y-y /x-x.

Nº de Piso	Dirección X-X			Dirección Y-Y		
	Vx (Ton)	Fx (Ton)	T (Ton.m)	Vy (Ton)	Fy (Ton)	T (Ton.m)
6	26,85	26,85	303,78	27,14	27,14	230,61
5	75,52	75,52	718,11	75,80	75,80	630,57
4	114,16	38,64	1051,66	114,97	39,17	953,27
3	142,53	28,37	1300,02	144,09	29,12	1193,27
2	161,36	18,83	1470,36	163,82	19,73	1356,07
1	170,60	9,24	1558,21	173,88	10,06	1439,34

Tabla 08: Derivas del análisis dinámico del muro estructural eje x-x.

Nº Piso	Análisis en Dirección X-X				
	Norma E.030 Artículo 31		"h" (m)	Distorsión de Entrepiso	Verificación de Deriva
	Δ_{abs} (m)	Δ_{rel} (m)			
6	0,0146	0,0023	3,00	0,0034	Si Cumple
5	0,0123	0,0025	3,00	0,0037	Si Cumple
4	0,0098	0,0027	3,00	0,0041	Si Cumple
3	0,0071	0,0028	3,00	0,0042	Si Cumple
2	0,0043	0,0025	3,00	0,0038	Si Cumple



1	0,0018	0,0018	4,00	0,0020	Si Cumple
---	--------	--------	------	--------	-----------

Tabla 09: Derivas del análisis dinámico del muro estructural eje y-y.

Análisis en Dirección Y-Y					
Nº Piso	Norma E.030 Artículo 31		Altura "h" (m)	Distorsión de Entrepiso	Verificación de Deriva
	Δ_{abs} (m)	Δ_{rel} (m)			
6	0,0182	0,0030	3,00	0,0045	Si Cumple
5	0,0152	0,0030	3,00	0,0045	Si Cumple
4	0,0122	0,0033	3,00	0,0050	Si Cumple
3	0,0088	0,0034	3,00	0,0051	Si Cumple
2	0,0054	0,0032	3,00	0,0048	Si Cumple
1	0,0023	0,0023	4,00	0,0025	Si Cumple

Tabla 10: Derivas del análisis dinámico del núcleo estructural eje x-x.

Análisis en Dirección X-X					
Nº de Piso	Norma E.030 Artículo 31		"h" (m)	Distorsión de Entrepiso	Verificación de Deriva
	Δ_{abs} (m)	$\Delta_{relativo}$ (m)			
6	0,0147	0,0018	3,00	0,0027	Si Cumple
5	0,0129	0,0022	3,00	0,0033	Si Cumple
4	0,0107	0,0030	3,00	0,0045	Si Cumple
3	0,0077	0,0031	3,00	0,0047	Si Cumple
2	0,0046	0,0027	3,00	0,0041	Si Cumple
1	0,0019	0,0019	4,00	0,0021	Si Cumple

Tabla 11: Derivas del análisis dinámico del núcleo estructural eje y-y.

Análisis en Dirección Y-Y					
Nº de Piso	Norma E.030 Artículo 31		"h" (m)	Distorsión de Entrepiso	Verificación de Deriva
	Δ_{abs} (m)	Δ_{rel} (m)			
6	0,0185	0,0020	3,00	0,0030	Si Cumple
5	0,0165	0,0033	3,00	0,0049	Si Cumple
4	0,0133	0,0040	3,00	0,0060	Si Cumple
3	0,0093	0,0034	3,00	0,0051	Si Cumple
2	0,0059	0,0035	3,00	0,0053	Si Cumple
1	0,0024	0,0024	4,00	0,0026	Si Cumple

La evaluación de los desplazamientos laterales relativos (derivas) permite confirmar que ambos sistemas estructurales propuestos poseen la rigidez suficiente para controlar las deformaciones ante eventos sísmicos severos.



En estricto cumplimiento del Artículo 31 de la Norma Técnica E.030, se verificó que las distorsiones inelásticas máximas de entepiso no superan el límite de 0.007 establecido para edificaciones de Concreto Armado. Tanto en el Modelo A (Muros Estructurales) como en el Modelo B (Núcleo Rígido), todas las derivas calculadas en las direcciones X e Y se mantienen por debajo del umbral crítico, validando la viabilidad técnica de ambos diseños para garantizar la integridad estructural y la protección de los elementos no estructurales.

Al realizar una contrastación directa entre ambas propuestas, se observa un comportamiento diferenciado en la respuesta lateral. El Modelo A (Muros Estructurales), caracterizado por una distribución perimetral de placas, exhibió un control de desplazamientos ligeramente superior, registrando derivas máximas de 0.0042 en la dirección X y 0.0051 en la dirección Y. Este desempeño eficiente se atribuye a la ubicación estratégica de los elementos rígidos en los bordes de la planta, lo cual

maximiza el brazo de palanca resistente y mejora la rigidez global del sistema frente a las fuerzas laterales.

Por su parte, el Modelo B (Núcleo Rígido) presentó distorsiones máximas de 0.0047 en la dirección X y 0.0060 en la dirección Y. Si bien estos valores cumplen holgadamente con la normativa, representan un incremento en la flexibilidad lateral respecto al sistema convencional (aproximadamente un 17% mayor en la dirección transversal). Este fenómeno responde a dos factores determinantes identificados en el análisis: primero, el incremento de la masa sísmica del núcleo (+14%) genera mayores fuerzas inerciales; y segundo, la centralización de la rigidez libera el perímetro, permitiendo que los pórticos exteriores experimenten un mayor rango de desplazamiento elástico. No obstante, el sistema demuestra ser plenamente capaz de disipar la energía sísmica manteniéndose dentro del rango de seguridad y ofreciendo, en contraparte, mayores ventajas de distribución arquitectónica.

Tabla 12: Cuadro comparativo de deformaciones estáticas y dinámicas de los modelos A y B.

Dirección de Análisis	Tipo de Análisis	Deriva Máx. Modelo A (Muros)	Deriva Máx. Modelo B (Núcleo)	Incremento de Flexibilidad	Estado (Límite 0.007)
Longitudinal (X-X)	Estático	0.0048	0.0058	+ 20.8 %	OK
	Dinámico	0.0042	0.0047	+ 11.9 %	OK
Transversal (Y-Y)	Estático	0.0061	0.0070	+ 14.7 %	Al Límite
	Dinámico	0.0051	0.0060	+ 17.6 %	OK

El análisis consolidado de las distorsiones angulares de entepiso permite establecer una clara diferenciación en el comportamiento mecánico de ambas propuestas. Al contrastar los valores máximos obtenidos, se evidencia que el Modelo B (Sistema de Núcleo Rígido) presenta consistentemente una mayor flexibilidad lateral frente al Modelo A (Sistema de Muros Estructurales). Cuantitativamente, el sistema de núcleo registró incrementos en las derivas que oscilan entre un 11.9% y un 20.8% dependiendo de la dirección y el tipo de análisis (estático o dinámico).

Este aumento en la deformabilidad confirma que la distribución perimetral de placas del Modelo A resulta geoméricamente más eficiente para restringir el desplazamiento lateral que la concentración de rigidez en el centro de la planta.

Un hallazgo crítico de esta investigación se observa en el desempeño del Núcleo Rígido en la dirección transversal (Y-Y). Bajo el análisis estático, este sistema alcanzó una deriva máxima de 0.0070, situándose exactamente en el límite máximo permisible establecido por la Norma

Técnica E.030 para estructuras de concreto armado. Este resultado indica que el Modelo B trabaja sin holgura de seguridad en términos de rigidez; es decir, la configuración planteada no admite una reducción de las secciones de los muros del núcleo ni una disminución en la calidad de los materiales, ya que cualquier flexibilización adicional conllevaría al incumplimiento normativo.

Por el contrario, el Sistema de Muros Estructurales demostró una mayor reserva de rigidez, con distorsiones máximas que no superaron el valor de 0.0061 en el escenario más desfavorable.

Esta diferencia de desempeño se atribuye fundamentalmente al "brazo de palanca" resistente: mientras que el Modelo A aprovecha la ubicación de los muros en los bordes para maximizar la inercia global y contrarrestar el momento de volteo, el Modelo B depende casi exclusivamente de la rigidez a flexión de la caja central, liberando a los pórticos exteriores para que acompañen el desplazamiento, lo que resulta en una estructura más permisiva al movimiento, pero arquitectónicamente más limpia.



Discusión

En relación con el segundo objetivo específico, orientado a determinar las diferencias en el análisis estático, la investigación ha revelado que la configuración estructural influye de manera determinante en la masa sísmica y, consecuentemente, en la fuerza basal de diseño. Los resultados del metrado de cargas evidenciaron que el Modelo B (Núcleo Rígido) posee una masa sísmica total de 1533.27 Tonf, superando en un 14.34% al Modelo A (Muros Estructurales), que registró 1340.94 Tonf [7]. Esta diferencia no es trivial; se atribuye directamente a la necesidad de densificar los muros de concreto en la zona central (caja de ascensores y escaleras) y al uso de losas macizas para garantizar la transferencia de esfuerzos hacia dicho núcleo [8]. Al mantener constantes los parámetros de sitio de la Zona 3 de Huancayo este incremento de peso se tradujo linealmente en una mayor demanda de corte basal [9]. El sistema de núcleo rígido generó una cortante estática de 257.14 Tonf, lo que implica que sus cimientos deben resistir 32.25 Tonf adicionales en comparación con el sistema convencional [10].

Abordando el tercer objetivo específico, referente a la respuesta dinámica espectral, se observó que la distribución de fuerzas inerciales difiere del patrón triangular estático. En ambos modelos, las fuerzas máximas (F_i) se concentraron en los niveles intermedios (Piso 5), respondiendo a la excitación de los modos superiores de vibración característicos de edificaciones multifamiliares de mediana altura [11]. Al comparar las cortantes basales dinámicas, el sistema de Núcleo Rígido nuevamente atrajo mayores fuerzas (177.25 Tonf) frente al sistema de Muros (170.60 Tonf), ratificando la tendencia observada en el análisis estático. Sin embargo, un hallazgo técnico relevante fue que la cortante dinámica representó apenas el 69% de la cortante estática en ambos casos. Este comportamiento obligó a realizar un escalamiento de fuerzas para cumplir con el mínimo del 80% exigido por la Norma E.030. Esto demuestra que, para la sismicidad de Huancayo, el diseño por resistencia está gobernado por la cortante estática, mientras que el análisis dinámico sirvió principalmente para verificar la distribución de aceleraciones y la respuesta modal, donde el núcleo mostró una clara tendencia a centralizar la masa participativa [12].

El análisis del primer objetivo específico arrojó los resultados más críticos y contrastantes de la investigación. Contrario a la intuición de que un "núcleo de concreto" haría al edificio más rígido, los datos demostraron que el Modelo B es mecánicamente más flexible que el Modelo A. Las derivas máximas del Núcleo Rígido alcanzaron valores de 0.0058 en la dirección X y 0.0070 en la dirección Y, superando consistentemente a las derivas del sistema de

Muros Estructurales (0.0048 en X y 0.0061 en Y). Este fenómeno se explica por la mecánica estructural: el Modelo A aprovecha la rigidez perimetral, colocando las placas lejos del centro de masa, lo que maximiza la inercia rotacional y traslacional del edificio (mayor brazo de palanca). En cambio, el Modelo B concentra toda la rigidez en el eje geométrico del edificio, dejando el perímetro "suelto" con pórticos más flexibles, lo que permite mayores desplazamientos relativos ante la misma carga sísmica [13].

Profundizando en el control de deformaciones, se identificó una situación límite en la dirección transversal del Núcleo Rígido. La distorsión de entrepiso obtenida fue de 0.0070, situándose en el límite matemático exacto permitido por la Norma Técnica E.030 para estructuras de Concreto Armado (0.007). Esto indica que la viabilidad del núcleo rígido en la dirección corta del edificio es "estricta"; es decir, el sistema funciona y cumple la norma, pero no ofrece ninguna holgura o factor de seguridad adicional en términos de rigidez. Cualquier error constructivo, reducción de la calidad del concreto ($f_c < 280$) o modificación arquitectónica que reduzca los muros del núcleo, llevaría al edificio a una condición de incumplimiento normativo. Por el contrario, el sistema de Muros Estructurales, con una deriva máxima de 0.0061, ofrece una reserva de rigidez del 13% antes de llegar al límite peligroso [14].

Integrando los hallazgos para responder al objetivo general sobre la viabilidad de la aplicación del núcleo rígido en Huancayo, se determina que el sistema es técnicamente viable pero estructuralmente menos eficiente que el sistema convencional de muros. La viabilidad se sostiene en que cumple con todos los controles normativos (Deriva 0.007 y Cortante Mínima). Sin embargo, el "costo" de esta viabilidad es un edificio 14% más pesado, con una cimentación más solicitada y una flexibilidad lateral que trabaja al límite de la norma [15]. Por consiguiente, la elección del Núcleo Rígido en Huancayo no se justifica por una mejora en el comportamiento sísmico (ya que el sistema de muros controla mejor los desplazamientos), sino que debe justificarse exclusivamente por sus ventajas arquitectónicas y funcionales, aceptando que ello conlleva un diseño estructural más robusto y sin márgenes de error para garantizar la seguridad [16].

Conclusiones

En atención al objetivo específico referente a las diferencias en el análisis estático, se concluye que la configuración estructural ejerce una incidencia directa sobre la masa reactiva y, consecuentemente, sobre la fuerza basal de diseño. La investigación determinó que el sistema de Núcleo Rígido (Modelo B) generó un incremento del



14.34% en la masa sísmica total de la edificación respecto al sistema de Muros Estructurales (Modelo A), comportamiento atribuido a la concentración de elementos de concreto y losas macizas en la zona central. Este aumento de peso se tradujo en una fuerza cortante basal estática de 257.14 Tonf para el núcleo, superando en más de 32 toneladas a la demanda del sistema convencional, lo cual implica que esta tipología impone mayores solicitaciones de carga vertical y de corte a la infraestructura de cimentación desde la fase de diseño estático.

Respecto a los resultados del análisis dinámico espectral, se evidenció que ambos sistemas presentan una distribución de fuerzas inerciales gobernada por la influencia de los modos superiores de vibración, concentrando las solicitaciones máximas en los niveles intermedios y no en la azotea. Se concluye que el sistema de Núcleo Rígido mantiene una demanda sísmica dinámica superior (177.25 Tonf) frente al sistema de muros (170.60 Tonf), ratificando la tendencia del análisis estático. Asimismo, se verificó que en ambos modelos la cortante dinámica resultó ser inferior al 80% de la cortante estática (aproximadamente un 69%), lo que demuestra que el diseño por resistencia en la zona sísmica de Huancayo está condicionado por el análisis estático escalado, independientemente de la configuración de rigidez elegida.

En lo concerniente a la evaluación de rigidez y deformaciones, se concluye que el sistema de Núcleo Rígido presenta una mayor flexibilidad lateral en comparación con el sistema de muros perimetrales. Contrario a la premisa de una mayor rigidez central, el núcleo registró distorsiones angulares entre un 11% y un 20% superiores a las del sistema convencional. Un hallazgo determinante fue que, en la dirección transversal (Y-Y), el núcleo rígido alcanzó una deriva de 0.0070, situándose en el límite máximo permitido por la Norma E.030. Esto demuestra que la distribución perimetral de placas del Modelo A resulta geoméricamente más eficiente para restringir los desplazamientos laterales que la centralización de la rigidez propuesta en el Modelo B.

Finalmente, respondiendo al objetivo general sobre la viabilidad de la aplicación, se determina que el sistema de Núcleo Rígido para un edificio multifamiliar en la ciudad de Huancayo es técnicamente factible, dado que logra cumplir estrictamente con los controles de deriva y resistencia cortante exigidos por la normativa nacional. No obstante, esta viabilidad se consigue sin holgura de seguridad en términos de rigidez para la dirección corta, trabajando al límite de la norma. Por consiguiente, el uso del núcleo rígido no representa una optimización estructural frente al sistema de muros —que resultó ser más rígido y liviano—, sino que constituye una alternativa

válida únicamente cuando se prioriza la libertad arquitectónica y la limpieza espacial, asumiendo el costo de una estructura más pesada y con menores márgenes de redundancia ante deformaciones.

Referencias Bibliográficas

- [1]. NGUYỄN, Thanh-Tùng, Ivo BAROŇ, Rostislav MELICHAR, Jia-Cian GAO, Filip HARTVICH, Cheng-Han LIN, Jan KLIMEŠ, Martin ŠUTJAK, Lenka KOCIÁNOVÁ, Václav DUŠEK, František BÁRTA, Chia-Han TSENG a Jia-Jyun DONG. Paleo-landslide analysis reveals underestimated seismic hazards in the outer Western Carpathians. *Engineering Geology* [online]. 2026, 108565. ISSN 00137952. Dostupné z: doi:10.1016/j.enggeo.2026.108565
- [2]. INCA-CABRERA, Eliana, Sandra JORDÃO, Carlos REBELO, Chiara BEDON, Afonso MESQUITA a Seyed Amin HOSSEINI. Experimental and numerical investigation of in-plane cyclic response of a point-fixed glass façade system for seismic performance assessment. *Journal of Building Engineering* [online]. 2025, 108. ISSN 23527102. Dostupné z: doi:10.1016/j.job.2025.112956
- [3]. ESPOSITO, Francesco, Fabrizio ASCIONE, Diana FAIELLA a Elena MELE. Stock-constrained optimization of diagrid exoskeletons using reclaimed steel for seismic retrofit of RC buildings. *Structures* [online]. 2026, 86, 111304. ISSN 23520124. Dostupné z: doi:10.1016/j.istruc.2026.111304
- [4]. RASHEDI, Seyed Hadi a Alireza RAHAI. *Experimental and numerical advances in seismic assessment of continuous RC rigid-frame bridges: A review* [online]. B.m.: Elsevier B.V. 1. červen 2025. ISSN 25901230. Dostupné z: doi:10.1016/j.rineng.2025.105656
- [5]. RASHEDI, Seyed Hadi a Alireza RAHAI. *Experimental and numerical advances in seismic assessment of continuous RC rigid-frame bridges: A review* [online]. B.m.: Elsevier B.V. 1. červen 2025. ISSN 25901230. Dostupné z: doi:10.1016/j.rineng.2025.105656
- [6]. BUDA, Rocco a Raffaele PUCINOTTI. A multidisciplinary approach in seismic and energy, retrofit of existing RC buildings: A "structural double skin". *Structures* [online]. 2025, 81. ISSN 23520124. Dostupné z: doi:10.1016/j.istruc.2025.110254
- [7]. TANG, Yuchuan, Emrullah TOMBAŞ a Chengzhen LI. Effect of nonlinear structural response on seismic fragility and risk of emergency power supply and



- distribution system in a nuclear power plant. *Nuclear Engineering and Technology* [online]. 2025, 57(7). ISSN 2234358X. Dostupné z: doi:10.1016/j.net.2025.103486
- [8]. TSAMPRAS, Georgios a Richard SAUSE. Reducing the magnitude and variability of seismic-induced acceleration and force responses in steel buildings with controlled rocking base mechanism and force-limiting connections. *Resilient Cities and Structures* [online]. 2025, 4(4), 143–157. ISSN 27727416. Dostupné z: doi:10.1016/j.rcns.2025.12.004
- [9]. HUANG, Xing Huai, Shang Zhen LI, Yeshou XU, Han Jie XIAO, Li Xin WANG, Aiguo SONG a Jinde CAO. Seismic behavior and numerical simulation of damaged beam-column joints retrofitted with viscoelastic steel-enveloped elements. *Journal of Engineering Research (Kuwait)* [online]. 2025. ISSN 23071885. Dostupné z: doi:10.1016/j.jer.2025.09.016
- [10]. BAPIR, Baban A., Lars ABRAHAMCZYK a Davorin PENAVA. Seismic soil–structure interaction impacts on damage state of infilled wall structures considering in-plane and out-of-plane behaviour. *Engineering Structures* [online]. 2026, 350, 121957. ISSN 01410296. Dostupné z: doi:10.1016/j.engstruct.2025.121957
- [11]. KALLIORAS, Stylianos, Marco LAMPERTI TORNAGHI, Dionysios BOURNAS, Simone PELOSO a Francisco Javier MOLINA. Modular building system with rocking cross-laminated timber panels for reusable construction: Experimental seismic assessment. *Engineering Structures* [online]. 2026, 352, 122124. ISSN 01410296. Dostupné z: doi:10.1016/j.engstruct.2026.122124
- [12]. ÖZCAN, Zeki. Structural assessment and seismic response of the historic Justinian stone arch bridge. *Case Studies in Construction Materials* [online]. 2025, 22. ISSN 22145095. Dostupné z: doi:10.1016/j.cscm.2025.e04471
- [13]. SUN, Guangjun, Bingyan WU a Hongjing LI. Damage evaluation of a multi-story brick masonry building with reinforced concrete framed ground floor under seismic loading: A case study. *Case Studies in Construction Materials* [online]. 2026, 24, e05888. ISSN 22145095. Dostupné z: doi:10.1016/j.cscm.2026.e05888
- [14]. DI CHICCO, Roberta a Antonio FORMISANO. Numerical modelling-based seismic vulnerability assessment of building aggregates in a historic centre of Basilicata. *Procedia Structural Integrity* [online]. 2026, 78, 497–504. ISSN 24523216. Dostupné z: doi:10.1016/j.prostr.2025.12.064
- [15]. IOVANE, Giacomo, Raffaele LANDOLFO a Beatrice FAGGIANO. Potential of hybrid steel-timber frames as sustainable seismic structures. *Procedia Structural Integrity* [online]. 2026, 78, 528–535. ISSN 24523216. Dostupné z: doi:10.1016/j.prostr.2025.12.068
- [16]. CICCARELLI, Lorenzo, Alberto BARONTINI, Maria Giovanna MASCIOTTA a Giuseppe BRANDO. Impact of degradation on the seismic vulnerability of an existing reinforced concrete bridge. *Procedia Structural Integrity* [online]. 2026, 78, 1428–1435. ISSN 24523216. Dostupné z: doi:10.1016/j.prostr.2025.12.182