



REVISTA INGENIO

Comportamiento Sísmico y Propuesta de Reforzamiento de Edificios de Hormigón Armado Esquineros en Portoviejo, Ecuador

Seismic Behavior and Retrofitting Proposal for Reinforced Concrete Corner Buildings in Portoviejo, Ecuador

Ronny Jahidan Jiménez Rodríguez |  Universidad Técnica de Manabí- UTM, Manabí - Ecuador

Brian Jordano Cagua Gómez |  Universidad Técnica de Manabí- UTM, Manabí - Ecuador

Recibido: : 16/9/2024
Recibido tras revisión: 9/10/2024
Aceptado: 21/10/2024
Publicado: 03/01/2025

PALABRAS CLAVE

Comportamiento sísmico, edificios esquineros, reforzamiento estructural, pórticos de acero, mampostería.

KEY WORDS

Seismic behavior, corner buildings, structural retrofitting, steel frames, masonry.

RESUMEN

Este estudio analiza el comportamiento sísmico de edificios esquineros de hormigón armado de mediana altura (4 pisos) en Portoviejo, Ecuador, y propone un método de reforzamiento que combina pórticos de acero con diagonales excéntricas y enchapado de mampostería. Mediante un levantamiento in situ, se identificaron las características geométricas y arquitectónicas típicas de estas edificaciones, y se desarrolló un modelo estructural representativo al que se aplicaron cinco enfoques de modelación para evaluar su respuesta sísmica. Los resultados demuestran que la inclusión de la mampostería en los cálculos estructurales modifica significativamente la rigidez del sistema. El mecanismo de reforzamiento propuesto mejora la distribución de rigideces, mitiga los efectos de torsión y reduce la demanda de acero en elementos de hormigón, incrementando la seguridad y estabilidad de las edificaciones. Aunque el enfoque cumple con los límites normativos establecidos y presenta una solución eficaz para mejorar la resistencia y rigidez lateral de las estructuras, es esencial evaluar la proporción óptima entre la cantidad de muros reforzados y el aporte de las diagonales de acero. Además, se recomienda realizar comprobaciones mediante análisis no lineales para determinar el impacto de emplear dos sistemas estructurales en la respuesta estructural y prevenir posibles problemas en el comportamiento inelástico.

ABSTRACT

This study analyzes the seismic behavior of medium-rise (4-story) corner reinforced concrete buildings in Portoviejo, Ecuador, and proposes a retrofitting method that combines steel frames with eccentric bracing and masonry overlays. Through an in-situ survey, the typical geometric and architectural characteristics of these buildings were identified, and a representative structural model was developed, to which five modeling approaches were applied to evaluate the seismic response. The results demonstrate that incorporating masonry in structural calculations significantly modifies the stiffness of the system. The proposed retrofitting mechanism enhances the stiffness distribution, mitigates torsional effects, and reduces the required steel reinforcement in concrete elements, thereby increasing the safety and stability of buildings. Although this approach complies with established regulatory limits and presents an effective solution to enhance the lateral strength and stiffness of structures, it is essential to evaluate the optimal proportion between the number of reinforced walls and the contribution of steel eccentric braces. Furthermore, it is recommended to conduct verifications using nonlinear analyses to determine the impact of employing two structural systems on the structural response and to prevent potential issues with inelastic behavior.

I. INTRODUCCIÓN

Los terremotos han sido responsables de devastadoras pérdidas humanas y económicas a lo largo de la historia, afectando regiones con alta actividad sísmica en todo el mundo. América Central y del Sur, por su ubicación geográfica, están particularmente expuestas a este tipo de desastres naturales [1]. En este contexto, Ecuador, ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, es una de las regiones con mayor actividad sísmica, debido prin-

cipalmente a las fuentes sísmicas de subducción (interplaca e intraplaca) y fuentes corticales superficiales [2]. El país ha experimentado eventos sísmicos significativos que han resultado en considerables daños materiales y humanos, como el terremoto de Pedernales del 16 de abril de 2016 [3].

Entre los efectos más críticos del movimiento sísmico se encuentra la torsión en edificios, un fenómeno

particularmente destructivo en construcciones esquineras. La distribución irregular de las paredes de mampostería en planta provoca una desigualdad en la rigidez del sistema estructural [4], lo que da lugar a vibraciones torsionales amplificadas que incrementan la vulnerabilidad estructural [5]. Estudios previos han documentado este problema en diversos sismos, como el de Puebla en 2017 y el de Michoacán en 1985, donde un alto porcentaje de los edificios esquineros colapsaron debido a la combinación de torsión y debilidad en los pisos inferiores [5].

El sismo de magnitud $M_w=7.1$ ocurrido en Puebla, México, el 19 de septiembre de 2017, ilustra claramente este problema. Este sismo, de tipo intraplaca, con una profundidad de 57 km, afectó gravemente a las estructuras en la región. De las 270 edificaciones evaluadas, el 25.9% eran edificios esquineros, y se observó que la mayoría de ellos presentaban muros de mampostería en dos de sus lados perimetrales, lo que exacerbó los efectos de torsión [6].

De manera similar, el terremoto de Michoacán, México, ocurrido el 19 de septiembre de 1985, sigue siendo uno de los eventos más instructivos en la historia de la ingeniería sísmica mundial, no solo en México. En este evento, se observó una alta incidencia de fallas en edificios esquineros, debido a la combinación de torsión y debilidad en los pisos inferiores. Del total de colapsos registrados en la Ciudad de México, más del 40% correspondió a edificios en esquina, que fallaron por el efecto combinado de torsión y piso débil [7].

La ciudad de Portoviejo, Ecuador, situada en una región de alta sismicidad dentro del cinturón de fuego del Pacífico, enfrenta un riesgo considerable debido a la elevada vulnerabilidad de sus estructuras. El terremoto de Pedernales, ocurrido el 16 de abril de 2016, evidenció esta fragilidad al provocar el colapso de numerosas construcciones ubicadas en esquinas de calles [8], especialmente aquellas con amplias aberturas en sus fachadas que redujeron su rigidez estructural [9]. En un contexto donde las zonas costeras de Sudamérica han sido testigos de eventos sísmicos intensos, la importancia de desarrollar soluciones efectivas de reforzamiento para mejorar la resiliencia de estas estructuras es crucial. A pesar del creciente interés en el comportamiento sísmico de edificaciones en diversas partes del mundo, persiste una significativa brecha de conocimiento en lo que respecta a los edificios esquineros de hormigón armado de mediana altura en Portoviejo, así como en las alternativas de reforzamiento adecuadas para mitigar su vulnerabilidad. Esta investigación se propone abordar esta brecha mediante el análisis detallado del comportamiento sísmico de dichas estructuras y se presenta una propuesta de estrategias de rehabilitación efectivas.

La pregunta central que guía este estudio es: ¿Cuál es el comportamiento sísmico esperado de las edificaciones de hormigón armado esquineras de mediana altura

(4 pisos) en Portoviejo, Ecuador, y cómo se ven afectadas estas estructuras por el reforzamiento mediante pórticos de acero con arriostramientos excéntricos y enchapado de mampostería bajo cargas sísmicas? El objetivo principal de esta investigación es evaluar el comportamiento sísmico de dichas estructuras y proponer estrategias de rehabilitación que mejoren su resiliencia frente a eventos sísmicos.

La alta sismicidad de Portoviejo, sumada a la prevalencia de construcciones informales, aumenta considerablemente los niveles de vulnerabilidad sísmica en la ciudad. Una de las formas más efectivas de mitigar esta vulnerabilidad es a través de la implementación de alternativas de reforzamiento estructural que cumplan con los requisitos mínimos establecidos por la norma de construcción sismo resistente del país (NEC). En Ecuador, es común el uso de pórticos duales como sistemas de resistencia a cargas laterales; estos pórticos combinan elementos resistentes a momentos con diagonales que pueden ser concéntricas o excéntricas, según las especificaciones del arquitecto o ingeniero responsable [10].

Entre las técnicas de reforzamiento, los pórticos con arriostramientos excéntricos, particularmente la viga enlace o eslabón de cortante, juegan un papel crucial como primera línea de defensa en la estructura; su capacidad influye directamente en el desempeño del resto de los elementos estructurales [11]. Estudios previos han demostrado que los edificios que incorporan pórticos con arriostramientos excéntricos (EBF) ofrecen una combinación de alta rigidez en el rango elástico con excelente ductilidad y capacidad de disipación de energía en el rango inelástico [12].

Por otro lado, el enchapado de mampostería se presenta como un mecanismo de reforzamiento que incrementa la rigidez de los pórticos ante cargas laterales y aumenta la resistencia general de la estructura [13]. Este sistema ha sido implementado con éxito en varios países de Latinoamérica, como México, Argentina y Perú, demostrando un comportamiento eficaz frente a cargas laterales. Investigaciones respaldan que este método de rehabilitación, cuando se aplica correctamente, no solo aumenta la resistencia ante cargas laterales, sino que también incrementa la rigidez remanente, la capacidad de deformación y la disipación de energía de la estructura [14]. El objetivo es mejorar la capacidad de resistencia y rigidez de estos edificios ante eventos sísmicos, minimizando los daños y asegurando la seguridad de los ocupantes.

La escasez de estudios específicos sobre el comportamiento sísmico de edificios esquineros de mediana altura en Portoviejo, junto con la falta de técnicas de reforzamiento adecuadas, subraya la necesidad de esta investigación. Comprender mejor cómo se comportan estas estructuras durante los sismos y evaluar la eficacia de los sistemas de reforzamiento propuestos permitirá establecer pautas y recomendaciones prácticas para el diseño y construcción de

edificaciones más seguras y resilientes en Portoviejo y en otras áreas con riesgo sísmico elevado. Esta investigación contribuirá al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería sísmica, proporcionando una base para la toma de decisiones en cuanto a la protección y reforzamiento de edificios de hormigón armado esquineros de mediana altura.

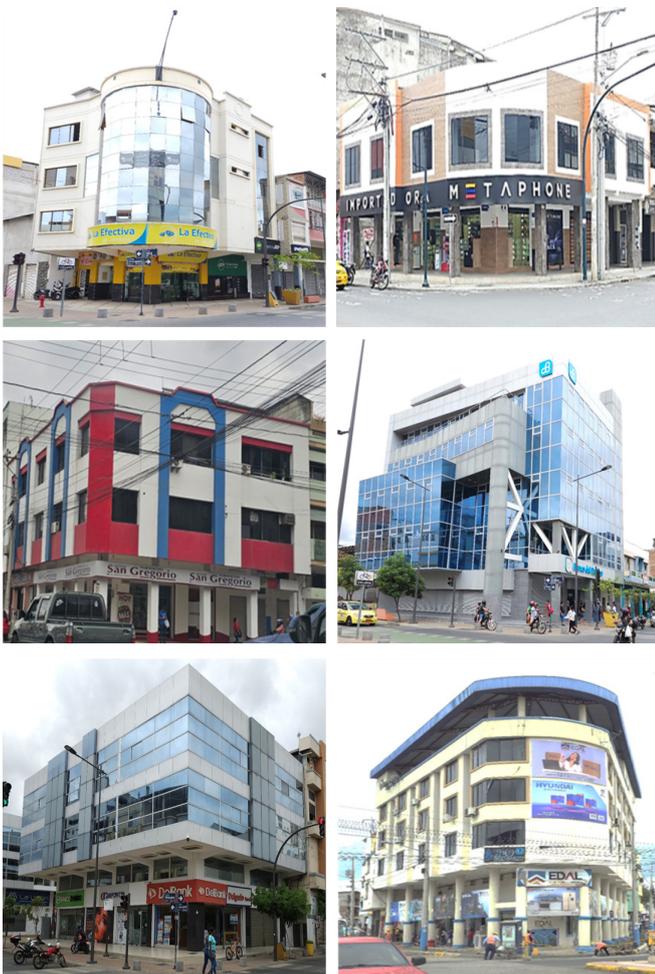
2. MÉTODO

2.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y SELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Este estudio se enfoca en el análisis cuantitativo del comportamiento sísmico de un arquetipo representativo de edificios esquineros de mediana altura (4 pisos) en la ciudad de Portoviejo, Ecuador. Se realizó un levantamiento de datos *in situ* para identificar las características geométricas y arquitectónicas clave de las edificaciones representativas. Se emplearon herramientas de medición y registro fotográfico para documentar la distribución arquitectónica, las secciones transversales de los elementos estructurales y otros detalles relevantes. Algunas de estas edificaciones esquineras en Portoviejo se ilustran en la Figura 1.

Figura 1.

Tipología de edificios esquineros ubicados en la ciudad de Portoviejo.



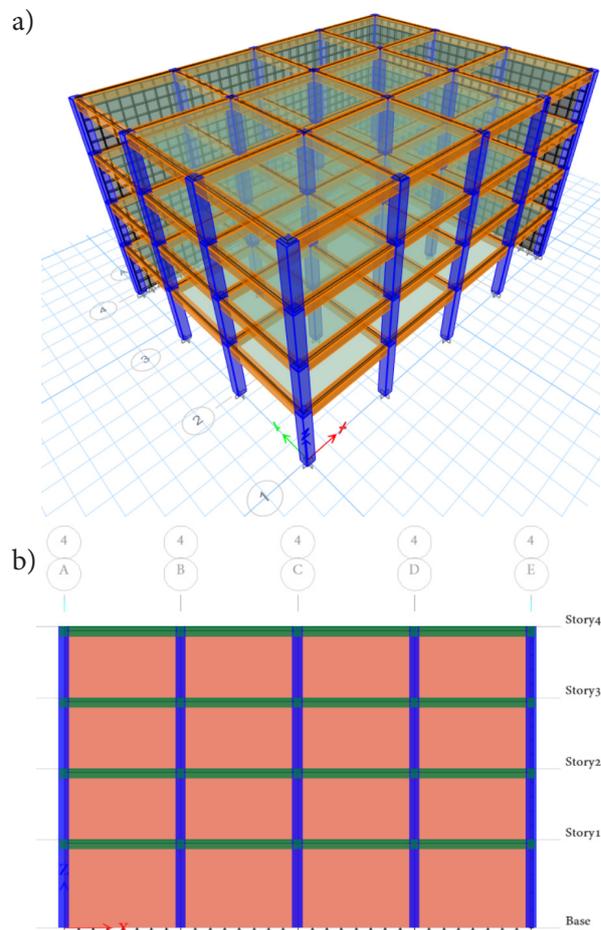
El arquetipo seleccionado, ubicado en una esquina de una zona céntrica entre la avenida Manabí y la avenida Quito, fue elegido por su representatividad en términos de tipología arquitectónica y estructural, típicamente utilizada para fines comerciales. El edificio se caracteriza por tener una planta baja de mayor altura y aberturas significativas en los lados que dan a las vías, lo que genera una distribución inadecuada de rigidez. Este arquetipo fue modelado y analizado para evaluar su respuesta sísmica.

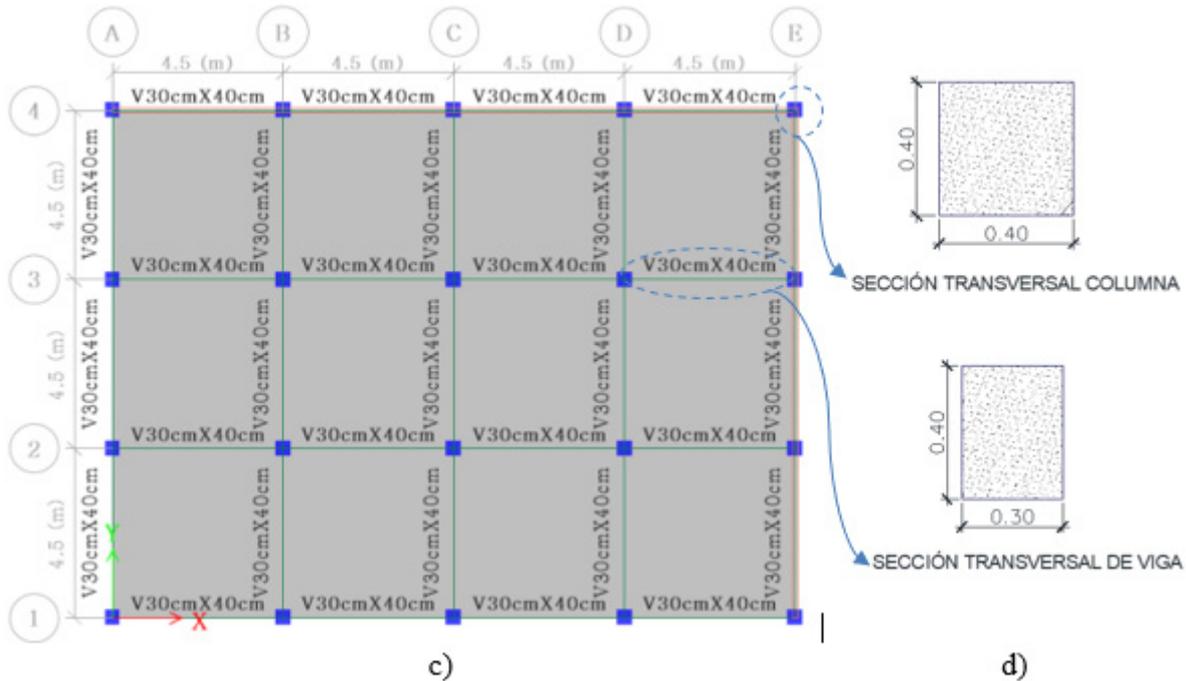
2.2. MODELADO COMPUTACIONAL

La edificación seleccionada para el análisis es de hormigón armado y consta de cuatro niveles. La planta baja tiene una altura de 3.50 m, mientras que los pisos superiores tienen una altura de 2.80 m. La estructura está conformada por pórticos con cuatro vanos de 4.50 m en la dirección X y tres vanos de 4.50 m en la dirección Y. Las losas alivianadas tienen un espesor de 0.20 m, las vigas tienen secciones de 0.30 m x 0.40 m, y las columnas poseen una sección transversal de 0.40 m x 0.40 m (ver Figura 2). Las cargas consideradas en el análisis estructural incluyen una carga permanente de 0.28 tonf/m² y una carga temporal de 0.07 tonf/m² en la cubierta, una carga permanente de 0.28 tonf/m² y una carga temporal de 0.25 tonf/m² en las losas de entrepiso.

Figura 2.

Edificación sin reforzar: a) modelo tridimensional; b) vista en elevación; c) vista en planta; d) sección transversal de vigas y columnas.





En este estudio se realiza un análisis tridimensional de la edificación, utilizando varios modelos estructurales. El primer modelo representa la estructura sin reforzar, donde las columnas y vigas se modelan mediante elementos tipo barra (frame), y las losas se representan con elementos bidimensionales tipo placa (shell). El segundo modelo considera la misma estructura, pero incorpora la mampostería de relleno, modelada también con elementos tipo shell, para capturar su contribución a la rigidez y su influencia en el comportamiento estructural. Posteriormente, se desarrollará un tercer modelo que integra el esquema de reforzamiento propuesto, incluyendo mamposterías enchapadas y la adición de pórticos externos de acero con diagonales excéntricas (modelados como frame), con el objetivo de evaluar su efecto en la mejora del comportamiento sísmico. Este enfoque se detalla más adelante en el artículo. Los modelos estructurales desarrollados intentan representar fielmente las características mecánicas y geométricas de los edificios esquineros en la ciudad de Portoviejo, y los primeros enfoques se presentan para que el lector pueda apreciar cómo la inclusión de la mampostería afecta el análisis y modifica el comportamiento estructural. Las aberturas de puertas y ventanas en las paredes de mampostería no fueron consideradas en el presente estudio ya que introduce una serie de complicaciones adicionales al modelado [15] with one solid wall and three walls with openings bounded by reinforced-concrete (RC, las cuales exceden el alcance del presente trabajo.

El modelado computacional de los elementos de hormigón armado se realizó siguiendo las directrices de la NEC SE CG, DS y HM (2015) [16], [17], [18], teniendo en cuenta los efectos de agrietamiento en los elementos estructurales. Estas consideraciones se aplicaron en función

de las recomendaciones establecidas para el análisis sísmico de estructuras de hormigón armado, asegurando que la rigidez efectiva de los elementos refleje adecuadamente la presencia de agrietamientos.

El análisis estructural se llevó a cabo utilizando un enfoque de análisis lineal elástico, implementando métodos simplificados de análisis estático equivalente y modal espectral. Este enfoque permite evaluar las respuestas sísmicas bajo condiciones simplificadas (ver espectro inelástico en la Figura 3), proporcionando una visión general del comportamiento de la estructura durante eventos sísmicos sin considerar la no linealidad material o geométrica y asumiendo condiciones estáticas. El propósito de este análisis es comparar las derivas inelásticas, la distribución de fuerzas y verificar la resistencia de los elementos estructurales. Estas metodologías tradicionales ofrecen un punto de partida para evaluar tanto la condición original de la edificación como la propuesta de reforzamiento, permitiendo un análisis preliminar efectivo antes de abordar análisis más complejos o detallados en un futuro trabajo.

2.3. ESPECTRO DE DISEÑO

La aceleración espectral se determinó utilizando el espectro de diseño establecido por la NEC-SE-DS (2015) [17]. La edificación se considera emplazada en una zona con suelo clasificado como M4, según la microzonificación sísmica de la ciudad de Portoviejo [19], lo que corresponde a un suelo tipo D de acuerdo con la velocidad de onda de corte indicada en la norma nacional [17]. A continuación, se presentan los factores debido al tipo de suelo y zona sísmica (F_a , F_d y F_s), junto con otros parámetros utilizados en el análisis, en la Tabla 1.

Tabla 1.

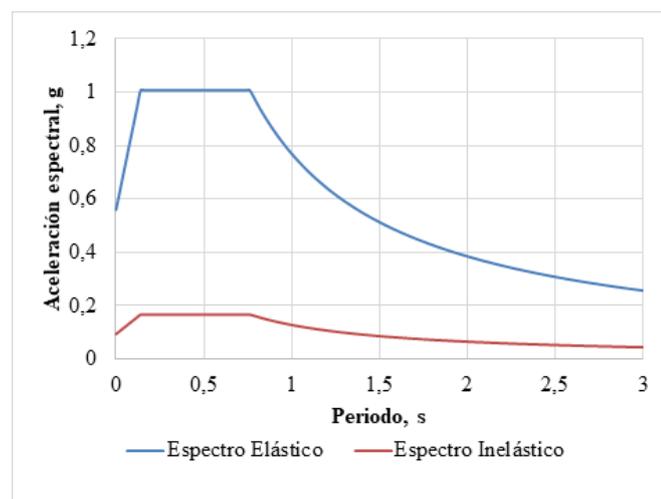
Factores de sitio y parámetros utilizados en el espectro de diseño.

Perfil	Zona Sísmica	Fa	Fd	Fs	Z	r	η	Ct	$\frac{hn}{m}$	α	I	R	$\emptyset P$	$\emptyset Ex$	$\emptyset Ey$
D	6	1.12	1.11	1.40	0.5	1	1.8	0.055	11.9	0.9	1	6	1	1	1

La Figura 3 muestra el espectro de diseño para el sitio de análisis, destacando tanto el espectro elástico (en azul) como el inelástico (en rojo).

Figura 3.

Espectro de Diseño para el sitio de análisis.



2.4. ANÁLISIS SÍSMICO DEL EDIFICIO SIN REFORZAR

El análisis sísmico del edificio sin reforzar se llevó a cabo utilizando un programa computacional basado en el método de elementos finitos. Tradicionalmente, este tipo de análisis en la práctica de ingeniería no incluye la rigidez proporcionada por la mampostería, considerando únicamente su peso [20]. Sin embargo, en este estudio se integraron las propiedades de rigidez de la mampostería no enchapada, lo que permitió una evaluación más realista del comportamiento sísmico de la estructura. Las propiedades físico-mecánicas de la mampostería empleadas en el análisis computacional se presentan en la Tabla 2, adaptadas de [21].

Tabla 2.

Propiedades de la mampostería de relleno (no enchapada).

Parámetros de la mampostería no enchapada		
$f'm$	8.77	kgf/cm ²
E_m	2347.69	kgf/cm ²

2.5. PROPUESTA DE REFORZAMIENTO

El esquema de reforzamiento propuesto combina pórticos de acero con diagonales excéntricas y enchapado de mampostería, ambos seleccionados para incrementar significativamente la rigidez lateral en ambas direcciones de la planta, tanto longitudinal como transversal, sin depender de los elementos estructurales existentes. Tanto los pórticos con diagonales excéntricas como el enchapado de mampostería incrementan la capacidad de carga y rigidez del edificio sin aumentar sustancialmente las cargas sobre la estructura. Al concentrar el reforzamiento en los pórticos perimetrales, se logra una intervención mínima que refuerza eficazmente el edificio, manteniendo su estabilidad sin sobrecargar los elementos originales. La Figura 4 muestra la configuración del reforzamiento propuesto, incluyendo la disposición de los pórticos de acero con diagonales excéntricas y el enchapado de mampostería, resaltando su implementación en los pórticos perimetrales.

Dentro del esquema de reforzamiento propuesto, se emplean dos estrategias clave: el uso de diagonales excéntricas en los tramos A2-A3 y B1-C1 y el enchapado de mampostería en B4-C4 y E2-E3 (ver Figura 2), cada una con sus propias ventajas estructurales y arquitectónicas. Las diagonales excéntricas, ubicadas en los pórticos de las fachadas, ofrecen una ventaja arquitectónica significativa, ya que permiten la disposición de puertas y ventanas sin comprometer la continuidad de los elementos estructurales, lo que es esencial para el diseño y la funcionalidad del edificio [22]. Por otro lado, el enchapado de mampostería en los pórticos perimetrales se realiza sin afectar de manera significativa la arquitectura del edificio, ya que no tiene implicaciones relevantes en la disposición de los elementos arquitectónicos como puertas y ventanas. Este sistema consiste en recubrir la mampostería con una malla de acero fijada mediante conectores y revestirla con hormigón de baja resistencia, lo que incrementa la rigidez lateral de la estructura sin interferir con el diseño arquitectónico [14].

La Figura 4 muestra la configuración estructural de la edificación reforzada, destacando los pórticos de acero y sus secciones transversales. El reforzamiento de las paredes de mampostería se lleva a cabo mediante enchapado, utilizando una malla de acero con varillas de 8 mm de diámetro, separadas 10 cm en ambas direcciones ($f_y=5.000$ kg/cm²), y fijadas con conectores de 12 mm

anclados a una profundidad de 10 cm y separación cada 20 cm. La malla se coloca a 5 cm de la pared y se recubre con un hormigón de resistencia $f_c = 140 \text{ kgf/cm}^2$, aplicando un espesor de 10 cm, ya que el enchapado se realiza únicamente en una cara de la pared.

La Tabla 3 presenta los parámetros de la mampostería enchapada empleados, obtenidos de la investigación realizada por Maldonado y Pozo [21].

Tabla 3.

Propiedades de la mampostería enchapada

Parámetros de la mampostería enchapada		
$f'm$	41.81	kgf/cm^2
E_m	9606.95	kgf/cm^2

En los modelos, los pórticos de acero utilizados para el reforzamiento estructural se conectan a los pórticos de hormigón de la estructura original mediante elementos rígidos. El análisis y diseño detallado de estas conexiones no se incluye en el alcance del presente estudio. Sin embargo, es fundamental que estas conexiones sean diseñadas bajo los principios de diseño por capacidad, para asegurar que las conexiones permanezcan elásticas y permitan que los pórticos de acero cumplan su función de refuerzo sin comprometer la integridad estructural. Estudios recientes han explorado diversos métodos para mejorar el desempeño sísmico de pórticos de hormigón armado (HA) mediante el refuerzo con pórticos de acero [23], [24], [25], [26]. Ecemis et al. (2021) [27] investigaron la incorporación de pórticos de acero externos en las esquinas de los edificios, mostrando que estas configuraciones aumentan significativamente tanto la rigidez lateral como la capacidad de carga. De manera similar, Cao et al. (2021) [28] namely, post-tensioned precast bolt-connected steel-plate reinforced concrete frame (PT-PBSPC frame) desarrollaron un marco innovador de acero pretensado con placas atornilladas prefabricadas, lo que mejoró el comportamiento sísmico gracias a un ensamblaje eficiente y elementos pretensados. Maheri y Hadjipour (2003) [29] examinaron conexiones de arriostres a escala real, confirmando que estas conexiones pueden diseñarse exitosamente utilizando las disposiciones actuales de los códigos para estructuras de acero y concreto.

Se analizaron dos alternativas adicionales de reforzamiento para evaluar el impacto de incrementar el número de paredes enchapadas. En el modelo denominado “Refuerzo 2”, se aplicó el enchapado de mampostería en todos los vanos tanto en la dirección X como en la dirección Y, específicamente en los ejes 4 y E, respectivamente. En el “Refuerzo 3”, se enchaparon tres vanos en la dirección X —denominados desde A4 hasta D4— y tres vanos en la

dirección Y del eje E. En ambos casos, no se modificaron las dimensiones de las paredes ni de los enchapados, y se mantuvieron las secciones de los pórticos de acero, con el propósito de aislar el efecto específico del incremento en las paredes enchapadas.

En este estudio, la mampostería de relleno se modeló utilizando elementos tipo shell, lo que permitió capturar de manera más detallada el comportamiento de las paredes [30]. Si bien el modelo de puntal equivalente es un enfoque popular y computacionalmente eficiente para representar las paredes de relleno, evitando la complejidad del modelado detallado de elementos finitos y capturando los efectos generales de resistencia, rigidez y disipación de energía [31], el uso de elementos shell en este caso fue más adecuado para reflejar la interacción entre el relleno y el marco. Aunque el modelo de puntal es útil para análisis no lineales y grandes edificaciones, como lo indican Brodsky (2021) [32](2013) [33], su precisión depende en gran medida de definir correctamente las propiedades del puntal y puede omitir factores importantes como la rigidez flexional de las vigas [30], [34], [35].

La elección entre elementos tipo shell y puntales equivalentes depende del nivel deseado de precisión y eficiencia computacional. Para resultados más precisos, especialmente con aberturas en las paredes, los elementos tipo shell pueden ser preferidos, mientras que los puntales equivalentes ofrecen un enfoque más simple para el análisis general y consideraciones de diseño [36], [37].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

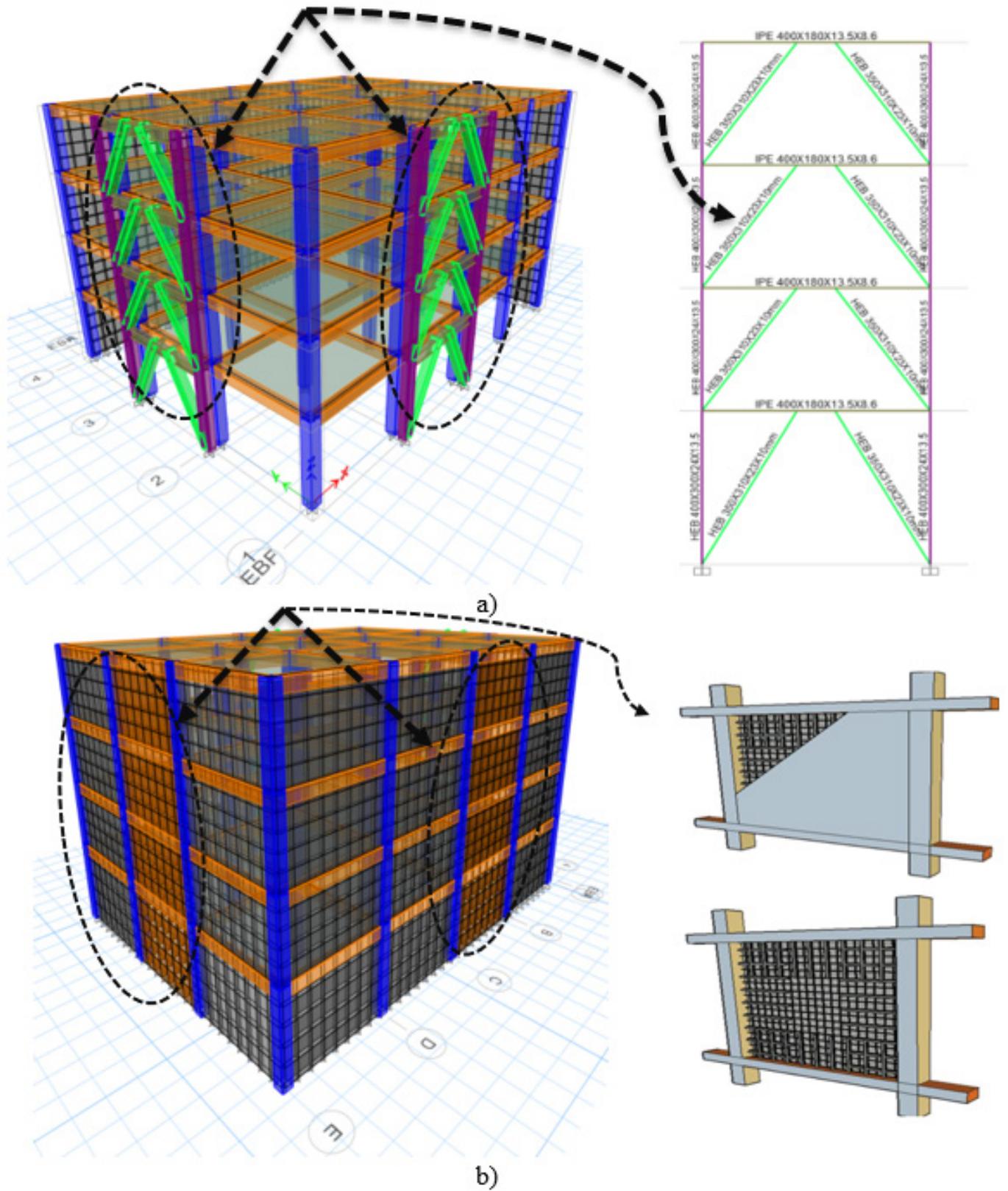
3.1. ANÁLISIS MODAL

En la Tabla 4 y Figuras 5 y 6, se presentan los resultados del análisis modal, que incluyen los períodos de vibración, la participación de masas y las formas modales de cada sistema estructural: el sistema de pórticos sin considerar la mampostería, el sistema de pórticos sin reforzar que sí considera la mampostería, y la edificación reforzada. El análisis revela que el sistema de pórticos sin mampostería, diseñado según las prácticas convencionales, muestra un comportamiento que inicialmente parece adecuado. Sin embargo, al incluir la mampostería en el análisis, se observa un cambio significativo en la matriz de rigidez de la estructura, lo que provoca efectos de torsión que no se contemplan en el diseño original (ver RZ en la Tabla 4).

Los períodos correspondientes a los tres primeros modos de vibración son mayores en los sistemas sin reforzar (con y sin mampostería) en comparación con el sistema reforzado con mampostería enchapada y diagonales excéntricas. Esto evidencia un aumento considerable en la rigidez de la edificación debido al reforzamiento aplicado,

Figura 4.

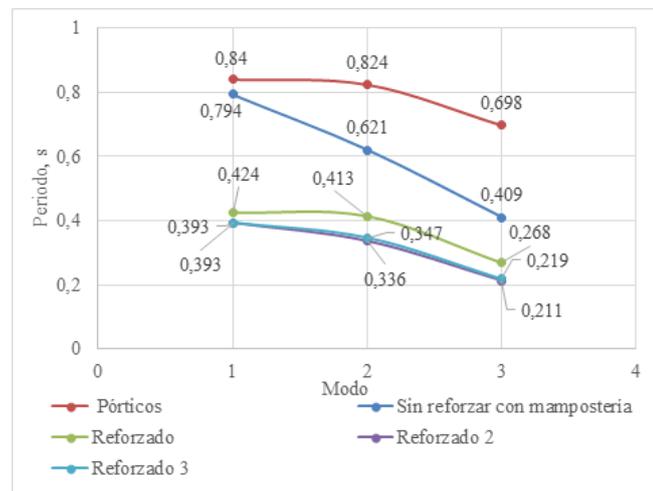
Edificación reforzada: a) modelo tridimensional mostrando las diagonales excéntricas; b) modelo tridimensional mostrando el enchapado de mampostería.



reduciendo la flexibilidad estructural y mejorando la capacidad de respuesta ante cargas sísmicas.

Figura 5.

Análisis modal, periodos de la edificación de los diferentes casos.



3.2. ANÁLISIS DE DERIVAS

En esta sección se presentan los resultados de las derivas obtenidas mediante el análisis estático equivalente lineal (sismo en X y sismo en Y o SX y SY, respectivamente) y el análisis dinámico lineal (espectral en X y espectral en Y). Como se muestra en la Figura 7, al aplicar el reforzamiento al sistema estructural mediante enchapado de mampostería y diagonales excéntricas, se observa una notable reducción en los efectos de torsión, que son comunes en edificaciones abiertas o esquineras. Además, la participación de la dirección ortogonal en la respuesta estructural se vuelve insignificante, lo que indica una mejora en el comportamiento estructural. Los resultados muestran que el reforzamiento propuesto mejora significativamente el comportamiento estructural, reduciendo las derivas y los efectos de torsión, como se ilustra en la Figura 7.

Tabla 4.

Periodos de vibración y participación modal correspondiente a los tres primeros modos.

Caso de estudio	Modo	Periodo	UX	UY	RZ
		segundos			
Pórticos	1	0.840	0%	100%	0%
	2	0.824	100%	0%	0%
	3	0.698	0%	0%	100%
Sin reforzar con mampostería	1	0.794	25%	54%	21%
	2	0.621	63%	36%	1%
	3	0.409	13%	10%	77%
Reforzado	1	0.424	0%	100%	0%
	2	0.413	100%	0%	0%
	3	0.268	0%	0%	100%
Reforzado 2	1	0.393	17%	69%	14%
	2	0.336	72%	25%	3%
	3	0.211	10%	6%	84%
Reforzado 3	1	0.393	26%	62%	12%
	2	0.347	68%	31%	1%
	3	0.219	6%	7%	87%

La Tabla 5 muestra que las derivas máximas de las estructuras cumplen con el límite del 2% establecido por la NEC 15 en la mayoría de los escenarios analizados. El sistema estructural de pórticos sin considerar la mampostería, así como los sistemas reforzados, se mantienen por debajo de este umbral en ambas direcciones. Sin embargo, en el sistema sin reforzar con mampostería incluida en el análisis, la deriva en la dirección Y ligeramente excede el límite con un valor de 2.05%. Por otra parte, un estudio realizado por Vielma et al. determinó que la incursión inelástica global en paredes de mampostería confinada en edificios formales ocurre con derivas de aproximadamente 0.4% a 0.8%, mientras que en edificios informales estas derivas se sitúan entre 0.25% y 0.5% [20]. Este hallazgo destaca que, en edificaciones abiertas, un evento sísmico puede provocar cambios abruptos en la matriz de rigidez y en el comportamiento estructural, generando efectos de torsión que pueden conducir al colapso. La propuesta de reforzamiento presentada en este estudio no solo incrementa la rigidez lateral de la edificación y reduce las derivas, sino que también previene la aparición de efectos torsionales, manteniendo las derivas dentro del rango recomendable para evitar el daño de las paredes de mampostería.

3.3. CHEQUEO DE IRREGULARIDAD TORSIONAL

La Tabla 6 muestra la relación entre la deriva máxima y la deriva promedio para los distintos casos estudiados. Según los criterios normativos, si esta relación supera el valor de 1.2, se considera que la estructura presenta una irregularidad torsional.

A partir de los resultados presentados se observa que, además del caso sin reforzar con mampostería, los casos de reforzamiento 2 y 3 también exceden este valor límite, indicando la presencia de irregularidades torsionales. Por lo tanto, estos esquemas de reforzamiento no son viables para su aplicación en la edificación analizada. En contraste, el caso de reforzamiento propuesto cumple satisfactoriamente con esta relación, manteniéndose dentro de los límites aceptables y garantizando un comportamiento estructural adecuado.

3.4. RELACIÓN DEMANDA/CAPACIDAD A FLEXO-COMPRESIÓN

En la Figura 8, se presentan las gráficas de la relación demanda/capacidad a flexo-compresión para los diferentes casos de estudio: sistemas de pórticos sin reforzar y reforzados. Se puede observar que, al considerar la mampostería en el análisis estructural, esta absorbe una parte significativa de los esfuerzos que originalmente recaían sobre las columnas y vigas, especialmente en los elementos que están directamente conectados a la mampostería. Esto reduce significativamente la demanda de esfuerzos en estos elementos, lo que evidencia un cambio en la rigidez de la estructura. Sin embargo, este cambio también puede ocasionar daños importantes en edificaciones de este tipo debido a la baja resistencia de las paredes de mampostería frente a estas solicitaciones. Por otro lado, en el caso de la edificación reforzada, se observa un aumento en la rigidez estructural, lo que incrementa la capacidad de la edificación para resistir cargas sísmicas, mejorando así su comportamiento global y reduciendo el riesgo de fallos estructurales.

En el sistema sin reforzar, pero considerando la mampostería (Figura 8b), se observa que la mampostería absorbe una parte significativa de los esfuerzos, reduciendo la demanda en los elementos estructurales a valores de hasta 0.75. Sin embargo, la baja resistencia de las paredes de mampostería ante solicitaciones de fuerza puede generar daños importantes en este tipo de edificaciones.

En contraste, en la edificación reforzada (Figura 8c), la rigidez se incrementa significativamente, reduciendo la relación demanda/capacidad en los elementos estructurales a valores que oscilan entre 0.25 y 0.55, lo que mejora notablemente el comportamiento global de la estructura. Finalmente, el sistema de marcos con arriostramiento excéntrico (Figura 8d) muestra un excelente desempeño, con la relación demanda/capacidad controlada en todos los elementos, alcanzando valores mínimos de hasta 0.10 y máximos de 0.50. Esto indica que la capacidad de la estructura para resistir cargas sísmicas se ha optimizado, reduciendo el riesgo de fallos estructurales.

3.4. REVISIÓN DEL ACERO REQUERIDO EN LAS DIFERENTES CONDICIONES DE LA EDIFICACIÓN

Se seleccionará un eje en cada dirección en X y en Y para mostrar el acero requerido en cada escenario de modelación. En la Figura 9 se muestra que, en el sistema de pórticos sin considerar la mampostería, la demanda de

Tabla 5.

Resumen de derivas máximas

Sentido	Pórtico		Sin reforzar		Reforzado		Reforzado 2		Reforzado 3	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
Deriva máx.	1.89%	1.99%	1.57%	2.05%	0.50%	0.52%	0.40%	0.50%	0.42%	0.49%

acero es mayor debido a la menor rigidez del sistema, con valores de acero requerido que oscilan entre 4.16 cm^2 y 10.10 cm^2 . Al incluir la mampostería en el análisis estructural (Figura 9b), la demanda de acero disminuye, con valores que varían entre 3.52 cm^2 y 9.63 cm^2 , ya que la mampostería absorbe parte de los esfuerzos estructurales. En el sistema reforzado (Figura 9c), se observa una mayor optimización en la demanda de acero, con áreas requeridas que oscilan entre 3.52 cm^2 y 8.71 cm^2 , lo que demuestra una mejora significativa en la capacidad estructural y una distribución más eficiente de las cargas gracias al reforzamiento aplicado. Estos resultados destacan la eficacia del reforzamiento propuesto al reducir la cantidad de acero necesario, sin comprometer la seguridad estructural del edificio.

3.5. DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS DE CORTE EN LOS DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEBIDO A SISMOS X E Y.

En la Figura 10, se observa los resultados de la distribución de la fuerza cortante actuante en cada caso y para cada dirección. En el primer caso, se analizó el edificio con pórticos de hormigón armado, y las columnas absorbieron el 100% del cortante basal. En el segundo caso, se analizó la misma edificación considerando la mampostería, que absorbió el 20% del cortante basal en cada dirección. En el tercer caso, se realizó el análisis con la edificación reforzada, donde las mamposterías enchapadas en conjunto con las diagonales excéntricas absorbieron más del 75% del cortante basal en cada dirección (en dirección X = 78,44% y en Y = 76,44%).

4. CONCLUSIONES

La distribución irregular de los muros de mampostería en edificaciones esquineras provoca una inadecuada distribución de rigideces, generando problemas significativos de torsión que pueden llevar al colapso. La incorporación de la mampostería en el análisis estructural modifica significativamente la rigidez de los edificios, ya que absorbe una parte considerable de los esfuerzos sísmicos que de otro modo recaerían en columnas y vigas. Por lo tanto, es fundamental incluir la mampostería en los cálculos estructurales para obtener resultados más realistas y precisos del comportamiento durante un sismo.

La implementación del mecanismo de refuerzo mediante enchapado de mampostería y diagonales excéntricas logra una distribución uniforme de rigideces, eliminando los efectos de torsión y reduciendo la distorsión de piso. Esto mejora significativamente la seguridad y estabilidad de la edificación, evitando daños en las paredes de mampostería existentes y optimizando la demanda de acero, lo que representa un uso más eficiente de

los recursos materiales sin comprometer la integridad estructural.

El análisis modal evidenció que el reforzamiento disminuyó los períodos de vibración de la estructura, reflejando un aumento significativo en la rigidez global. La reducción en los períodos de los tres primeros modos de vibración y las formas modales indican una mejora en la capacidad para controlar acciones sísmicas y un comportamiento dinámico más favorable.

En los edificios reforzados, las mamposterías enchapadas y las diagonales excéntricas absorbieron más del 75% del cortante basal sísmico en ambas direcciones, aliviando significativamente la carga en las columnas principales. Esta redistribución eficiente de las cargas sísmicas reduce el riesgo de fallos estructurales en las columnas y mejora el desempeño general del edificio.

Las derivas máximas obtenidas en los distintos escenarios de análisis cumplieron con los límites establecidos por la normativa ecuatoriana NEC 15, es decir, valores menores al 2%. Además, la implementación del reforzamiento permitió mantener las derivas dentro de los rangos recomendados para evitar el daño de las paredes de mampostería, confirmando la efectividad de la propuesta para mejorar la resiliencia sísmica de las edificaciones.

Las alternativas adicionales de reforzamiento (refuerzo 2 y refuerzo 3), que incrementaron el número de muros enchapados sin modificar las dimensiones de las paredes ni las secciones de los pórticos de acero, no fueron viables debido a problemas de irregularidad torsional, superando el límite normativo (relación deriva máxima/ deriva promedio superior a 1.2). Esto resalta la importancia de una adecuada distribución de rigideces al diseñar esquemas de reforzamiento, evitando incrementos indiscriminados que puedan generar efectos negativos en el comportamiento sísmico.

Capturar los máximos y mínimos de la respuesta estructural mediante modelos simplificados de análisis estático lineal puede generar una incertidumbre considerable, especialmente al modelar elementos estructurales clave. Para evaluar esta incertidumbre, se realizó un análisis comparativo de las derivas utilizando dos configuraciones adicionales de modelación. En el primer modelo, que considera únicamente los elementos de hormigón armado enchapado y los pórticos de acero, sin incluir las mamposterías, se obtuvieron derivas máximas de 0.8% en la dirección X y 0.9% en la dirección Y, cumpliendo con el límite del 2% establecido por la NEC. En el segundo modelo, que excluye el enchapado pero incluye las mamposterías y los pórticos de acero, las derivas máximas fueron de 0.7% en la dirección X y 0.85% en la dirección Y, por debajo del límite del 1% recomendado para mamposterías más frágiles según la normativa.

Se recomienda que futuros estudios incluyan análisis no lineales y pruebas experimentales para validar y perfeccionar los resultados obtenidos, considerando también

la influencia de las aberturas en las paredes de mampostería. Esto permitirá obtener una representación más precisa del comportamiento estructural y evaluar el impacto de emplear dos sistemas estructurales en la respuesta inelástica de la edificación, previniendo posibles problemas durante eventos sísmicos severos.

En este estudio, se utilizaron elementos tipo shell para modelar la mampostería de relleno, lo que permitió una representación más detallada en comparación con el modelo de puntal equivalente, que, aunque eficiente, puede ignorar aspectos clave como la rigidez flexional de las vigas. Aunque no forma parte del alcance de este trabajo y no se presentan detalles específicos, también se desarrollaron modelos utilizando el método del puntal equivalente según la metodología de FEMA 356 [38]. Los análisis preliminares indicaron que los resultados en términos de derivas pueden incrementar hasta en un 50%. Se recomienda realizar un estudio específico para abordar la incertidumbre en la modelación de la mampostería, evaluando el impacto de ambos enfoques en los resultados estructurales de arquetipos similares, y proponiendo una metodología que equilibre la precisión y la eficiencia computacional.

Los hallazgos de este estudio proporcionan una base sólida para mejorar las prácticas de diseño y reforzamiento de edificios esquineros en zonas sísmicas de Ecuador, como Portoviejo. La estrategia de reforzamiento propuesta se presenta como una solución viable y eficaz para incrementar la resistencia y rigidez lateral de las estructuras, contribuyendo a la seguridad y resiliencia de las comunidades locales frente a eventos sísmicos.

REFERENCIAS

- [1] F. Cunalata y P. Caiza, «Estado del arte de estudios de vulnerabilidad sísmica en Ecuador», vol. 50, n.º 1. *Revista Politécnica*, 2022, doi: <https://doi.org/10.33333/rp.vol50n1.06>.
- [2] P. Quinde y E. Reinoso, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca», *Ingeniería sísmica*, vol. 94, 2016, [En línea]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001
- [3] A. Zambrano, C. Frau, y J. Vielma, «Análisis no lineal de sismos destructivos. Terremoto de Ecuador del 16 de abril de 2016», *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, vol. 28, n.º 1, pp. 17-34, 2023, doi: <https://doi.org/10.24133/riie.v28i1.3107>.
- [4] R. Aguiar, A. Jara, y P. Darío, «Edificios abiertos con y sin aisladores de base», *Ciencia*, vol. 12, n.º 1, pp. 1-25, 2009.
- [5] V. Romoaldo, «Nueva filosofía de diseño por torsión sísmica en estructuras de mampostería», Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/348>
- [6] C. Cortés, «Vulnerabilidad sísmica de edificios en esquina durante el temblor del 19 de septiembre de 2017», Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, 2020. [En línea]. Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4088
- [7] A. Tena-Colunga, «Enseñanzas principales durante sismos recientes», presentado en Seminario Anual Riesgo Terremoto y Huracán, Hannover, 2004, p. 37. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259487430_Enseñanzas_principales_durante_sismos_recientes
- [8] R. Aguiar y Y. Mieles, «Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016», *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, vol. 21, n.º 3, pp. 257-282, 2018, doi: <https://doi.org/10.24133/riie.v21i3.601>.
- [9] G. Menéndez, J. García, y A. Reyna, «Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de la ciudad de Portoviejo: Reflexiones del 16-A», *InGenio Journal*, vol. 6, n.º 1, pp. 73-86, 2023, doi: <https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i1.565>.
- [10] B. Cagua, J. Pilatasig, R. Aguiar, y C. Morales, «Non-linear Behavior of Steel Frames with Concentric and Eccentric Bracing», en *Applied Technologies*, M. Botto-Tobar, M. Zambrano Vizueté, S. Montes León, P. Torres-Carrión, y B. Durakovic, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 32-45.
- [11] J. García y T. Hernández, «Respuesta inelástica de marcos dúctiles con contraviento excéntrico», *Ingeniería sísmica*, vol. 100, pp. 51-70, 2019, doi: <https://smis.mx/index.php/RIS/article/view/RIS-100-3>.
- [12] E. Márquez, W. lobo, y J. Vielma, «Estructuras de acero comportamiento de edificios de acero con diagonales concéntricas y excéntricas», presentado en X Convesis, Cumaná, 2015, p. 10. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286919885_ES-TRUCTURAS_DE_ACERO_COMPORTEAMIENTO_DE_EDIFICIOS_DE_ACERO_CON_DIAGONALES_CONCENTRICAS_Y_EXCENTRICAS
- [13] C. Castillo, J. Castillo, P. Placencia, L. Hernández, M. Herrera, y G. Christian, «Reforzamiento estructural en viviendas adosadas mediante recubrimiento de mampostería con malla electrosoldada y mortero», *Gaceta Técnica*, vol. 23, n.º 2, pp. 53-69, 2022, doi: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica232.5>.
- [14] M. Herrera, «Análisis por desempeño de estructuras de hormigón armado con mampostería reforzada (enchape) para edificaciones de mediana altura», Tesis de maestría, Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito,

- Ecuador, 2023.
- [15] V. Singhal y D. C. Rai, «Behavior of Confined Masonry Walls with Openings under In-Plane and Out-of-Plane Loads», *Earthquake Spectra*, vol. 34, n.º 2, pp. 817-841, may 2018, doi: 10.1193/061416EQS097M.
- [16] MIDUVI, *NEC-SE-CG: Norma Ecuatoriana de la Construcción – Cargas (no sísmicas)*. Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014. Accedido: 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [17] MIDUVI, *NEC-SE-DS: Norma Ecuatoriana de la Construcción – Seguridad Estructural – Diseño Sismo Resistente*. Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014. Accedido: 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [18] MIDUVI, *NEC-SE-HM: Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Hormigón Armado*. Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014. Accedido: 5 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [19] «Estudio de microzonificación sísmica del área urbana de Portoviejo y sus cabeceras parroquiales rurales», 2017.
- [20] J. Vielma, R. Aguiar, C. Frau, y A. Zambrano, «Irregularity of the Distribution of Masonry Infill Panels and Its Effect on the Seismic Collapse of Reinforced Concrete Buildings», *Applied Sciences*, vol. 11, n.º 18, 2021, doi: 10.3390/app11188691.
- [21] M. Maldonado y A. Pozo, «Estudio comparativo de las propiedades Físico-Mecánicas entre 4 tipos de mamposterías reforzadas con la técnica del enchape», Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2019.
- [22] K. Aguilar, «Estudio comparativo de edificios de acero de gran altura con diagonales excéntricas, concéntricas y diagonales con amortiguadores en la ciudad de Quito», Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://catalogobiblioteca.puce.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=70174>
- [23] P. Javadi, M. Askari, S. Vahedi, A. GhafourianHesami, y A. Tizchang, «Retrofit of RC buildings using vertical shear links and hybrid connections», *Structures*, vol. 48, pp. 1788-1807, feb. 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.01.015.
- [24] H.-J. Lee, H.-B. Lee, H.-G. Park, y J.-K. Lee, «Cyclic Loading Test for Two-Story RC Moment Frames Retrofitted with Internal Steel Frames», *Journal of Structural Engineering*, vol. 147, n.º 2, p. 04020333, 2021, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002918.
- [25] X.-Y. Cao, D. Shen, D.-C. Feng, C.-L. Wang, Z. Qu, y G. Wu, «Seismic retrofitting of existing frame buildings through externally attached sub-structures: State of the art review and future perspectives», *Journal of Building Engineering*, vol. 57, p. 104904, oct. 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104904.
- [26] X.-Y. Cao, D.-C. Feng, G. Wu, y Z. Wang, «Experimental and theoretical investigations of the existing reinforced concrete frames retrofitted with the novel external SC-PBSPC BRBF sub-structures», *Engineering Structures*, vol. 256, p. 113982, abr. 2022, doi: 10.1016/j.engstruct.2022.113982.
- [27] A. S. Ecemis, H. H. Korkmaz, y Y. Dere, «Seismic performance improvement of RC buildings with external steel frames», *1*, vol. 27, n.º 4, Art. n.º 4, abr. 2021.
- [28] X.-Y. Cao, G. Wu, y J.-W. W. Ju, «Seismic performance improvement of existing RCFs using external PT-PBSPC frame sub-structures: Experimental verification and numerical investigation», *Journal of Building Engineering*, vol. 46, p. 103649, abr. 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2021.103649.
- [29] M. R. Maheri y A. Hadjipour, «Experimental investigation and design of steel brace connection to RC frame», *Engineering Structures*, vol. 25, n.º 13, pp. 1707-1714, nov. 2003, doi: 10.1016/S0141-0296(03)00162-7.
- [30] G. Alva y G. Montandon, «Structural models for analysis of reinforced concrete frame buildings with masonry infills», *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, vol. 12, 2019.
- [31] E. Yu, M. Kim, y D. Jung, «A Comparison Study of Equivalent Strut Models for Seismic Performance Evaluation of Masonry-Infilled Frame», *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, vol. 18, n.º 2, pp. 79-87, 2014, doi: 10.5000/EESK.2014.18.2.079.
- [32] A. Brodsky, «A micro-macro modelling methodology for the analysis of infilled frames», *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 19, n.º 5, pp. 2161-2184, mar. 2021, doi: 10.1007/s10518-021-01045-9.
- [33] A. Adukadukam y A. K. Sengupta, «Equivalent Strut Method for the Modelling of Masonry Infill Walls in the Nonlinear Static Analysis of Buildings», *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, vol. 94, n.º 2, pp. 99-108, may 2013, doi: 10.1007/s40030-013-0042-y.
- [34] K. M. Kareem y E. M. Güneysi, «Effect of Masonry Infill Wall Configuration and Modelling Approach on the Behaviour of RC Frame Structures», *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 44, n.º 5, pp. 4309-4324, may 2019, doi: 10.1007/s13369-018-3389-6.
- [35] J. Srechai, S. Leelataviwat, W. Wararuksajja, y S. Limkattanyu, «Multi-strut and empirical formula-based macro modeling for masonry infilled RC frames», *Engineering Structures*, vol. 266, p. 114559, sep. 2022, doi: 10.1016/j.engstruct.2022.114559.
- [36] S. Sattar y A. B. Liel, «Seismic Performance of Non-ductile Reinforced Concrete Frames with Masonry

Infill Walls–II: Collapse Assessment», *Earthquake Spectra*, vol. 32, n.º 2, pp. 819-842, may 2016, doi: 10.1193/091514eqs141m.

- [37] M. Sukrawa, «Earthquake Response of RC Infilled Frame with Wall Openings in Low-rise Hotel Buildings», *Procedia Engineering*, vol. 125, pp. 933-939, ene. 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.118.

- [38] F. E. FEMA 356, «Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings», *Federal Emergency Management Agency: Washington, DC, USA*, 2000.

ANEXOS A

Figura 6.

Deformaciones del análisis modal: a) Sistema de pórticos sin mampostería; b) Pórtico con presencia de mampostería de relleno; c) Sistema reforzado con diagonales excéntricas y mampostería enchapada en un vano en X y en Y; d) Sistema reforzado 2; e) Sistema reforzado 3.

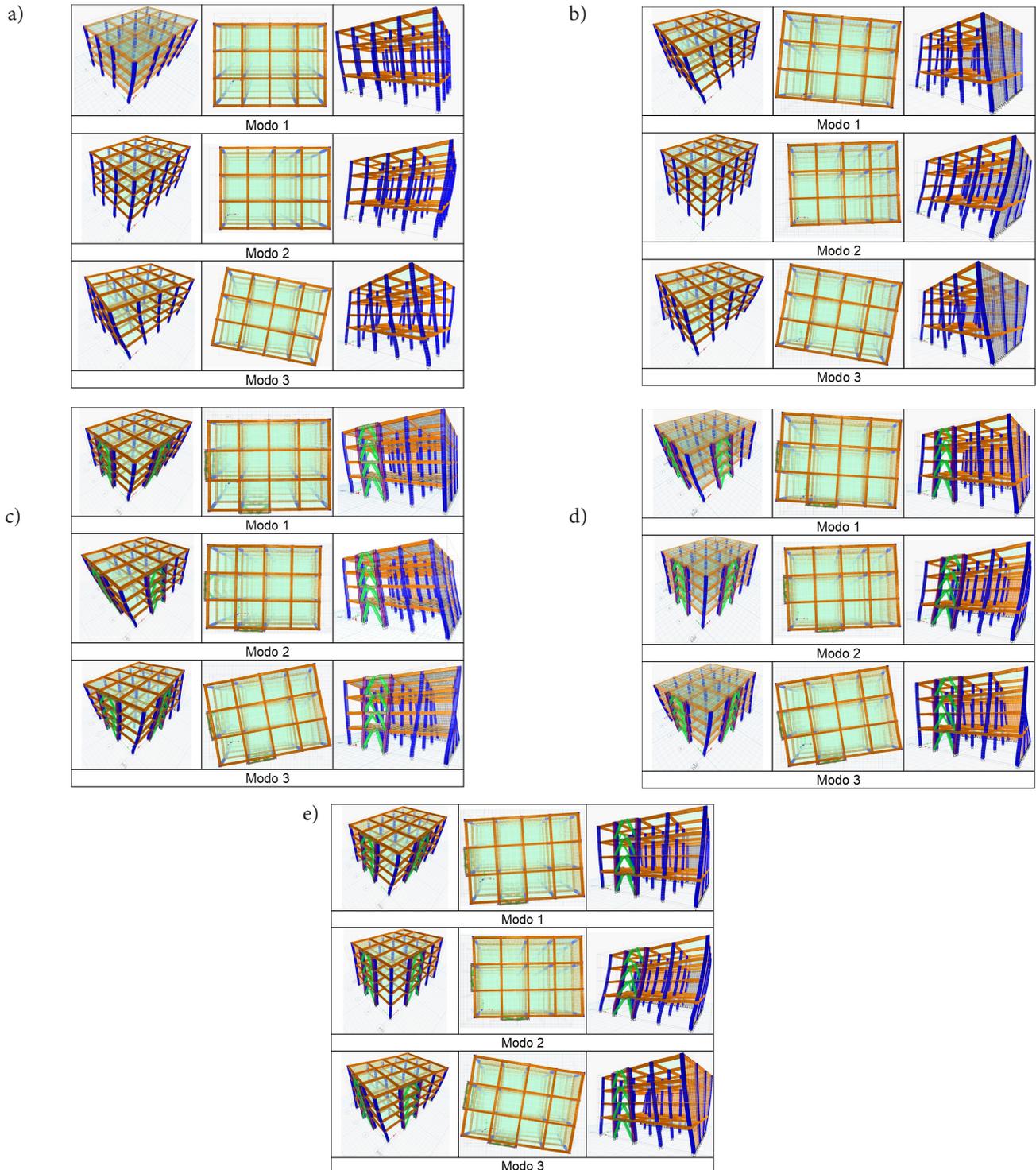


Figura 7.

Derivas de los diferentes casos de estudios (sistema de pórticos sin mampostería, sistema sin reforzar tomando en cuenta la mampostería y sistemas reforzados: a) Derivas de Sismo en X, Espectral en X; b) Derivas de sismo en Y, espectral en Y.

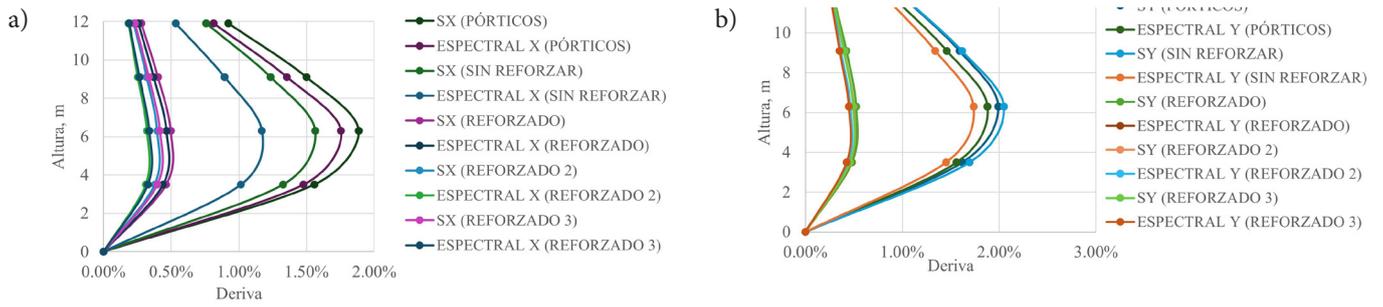


Figura 8.

Relación demanda/capacidad: a) sistema de pórticos sin considerar la mampostería; b) sistema sin reforzar donde se toma en cuenta la mampostería; c) edificación reforzada; d) sistema de marcos con arriostramiento excéntrico.

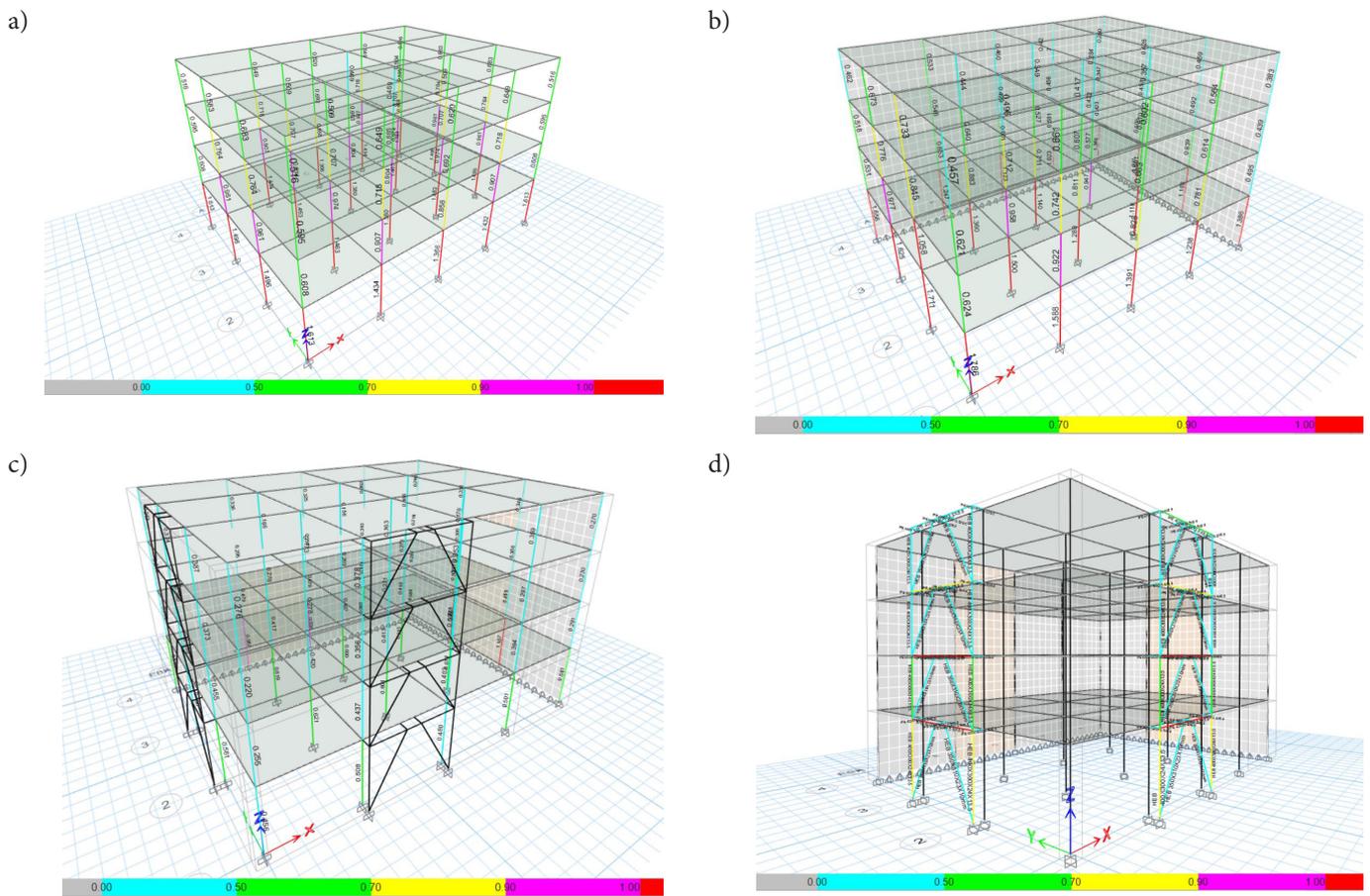


Figura 9.

Área de acero requerido en columnas y vigas en el eje C y eje 2: a) Sistema de pórticos sin tomar en cuenta la mampostería; b) Sistema de pórticos considerando la mampostería; c) Sistema de pórticos reforzado.

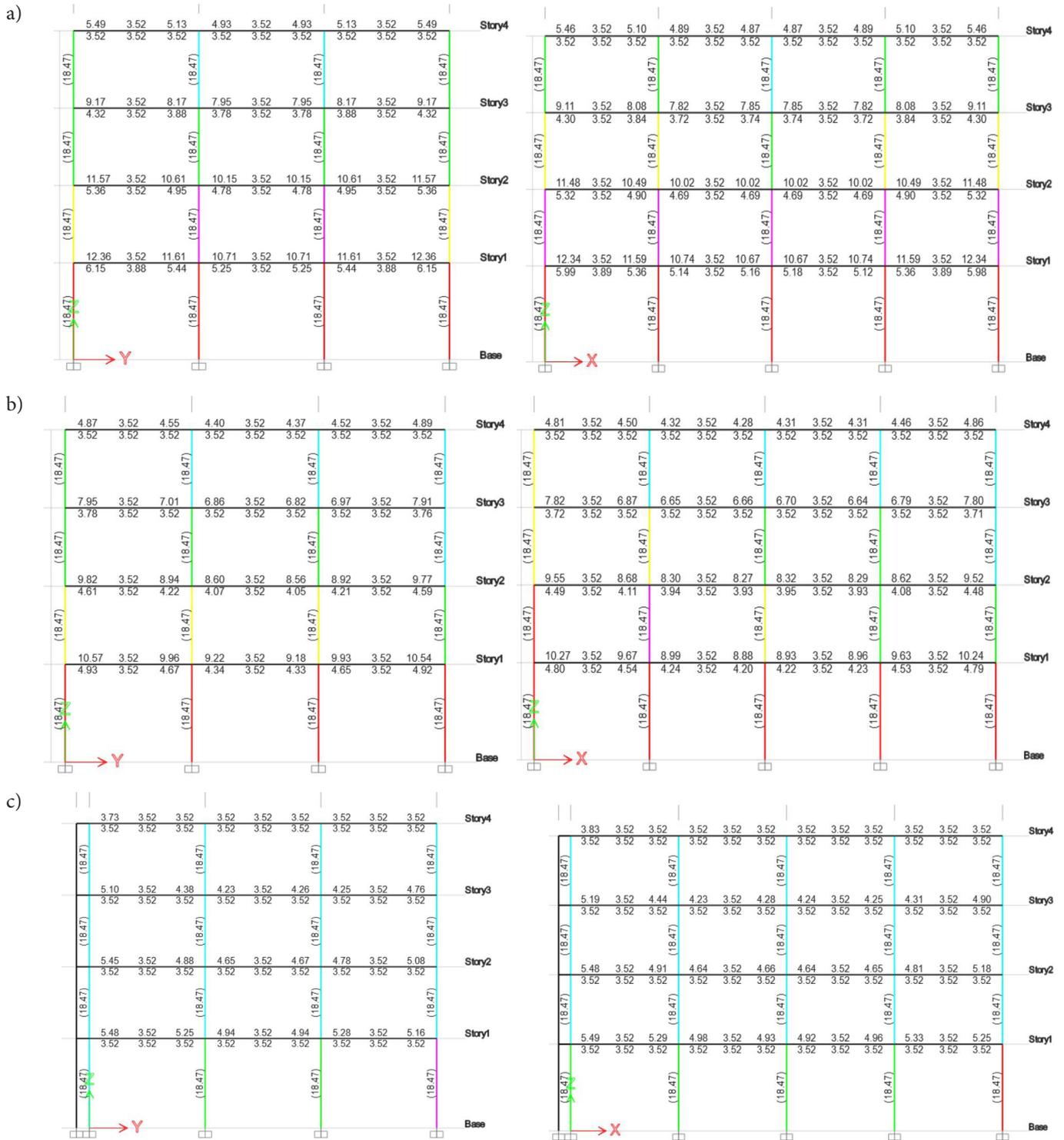
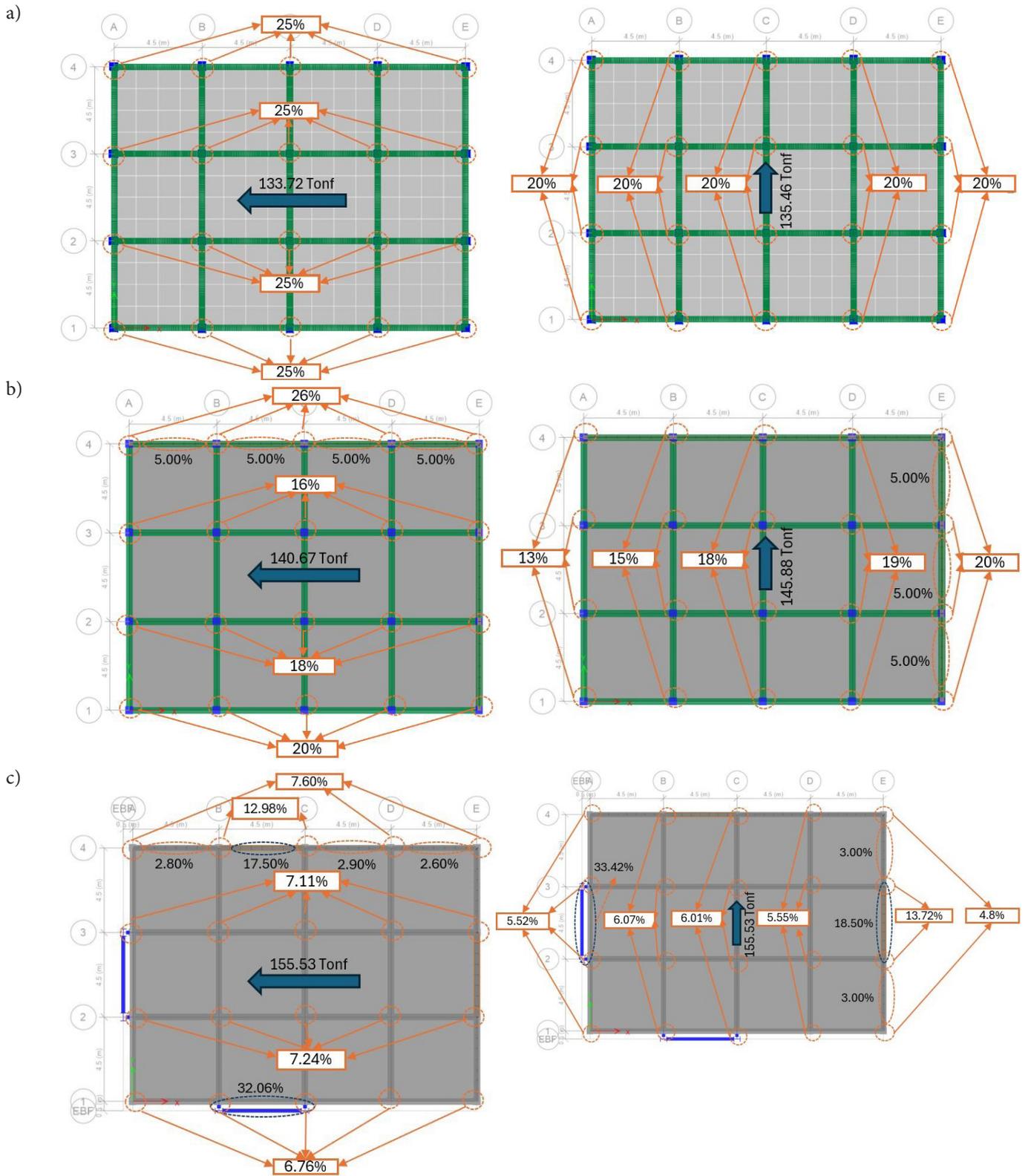


Figura 10.

Porcentaje de fuerzas de cortante que absorben los elementos estructurales: a) Caso 1: Análisis sin considerar la mampostería; b) Caso 2: Análisis considerando la mampostería; c) Caso 3: Análisis aplicando la propuesta de reforzamiento a la edificación.



ANEXOS B**Tabla 6.**

Relación deriva máxima/deriva promedio considerando 5% de excentricidad accidental

Caso	Nivel 4		Nivel 3		Nivel 2		Nivel 1		Irregularidad
	x	y	x	y	x	y	x	y	
Pórticos	1,071	1,121	1,071	1,122	1,071	1,122	1,071	1,123	Ninguna
Sin reforzar con mampostería	1,372	1,479	1,365	1,477	1,358	1,47	1,323	1,435	Extrema
Reforzado	1,127	1,119	1,082	1,1	1,081	1,101	1,077	1,096	Ninguna
Reforzado 2	1,394	1,381	1,285	1,33	1,275	1,325	1,252	1,301	Irregular
Reforzado 3	1,308	1,384	1,223	1,335	1,216	1,334	1,199	1,314	Irregular