

Seismic resistant behavior of a reinforced concrete structural system and a metallic structural system in the city of Chiclayo

Albert Hans Diaz Idrogo¹; Alwin Joseph Perez Correa¹; Jorge Luis Leiva Piedra¹ Jorge Humberto Olorte García¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19314782@utp.edu.pe, U19314551@utp.edu.pe, jleiva@utp.edu.pe, C23572@utp.edu.pe

Abstract– Seismic movements affect 25% of buildings worldwide, causing structural vulnerability; Peru, located in the Pacific Ring of Fire, makes its buildings highly vulnerable, highlighting the importance of evaluating seismic-resistant structural systems to mitigate risks and guarantee safety. The objective of the present study was to compare the seismic resistance behavior of a reinforced concrete structural system and a metallic structural system in the city of Chiclayo. For this purpose, a study was carried out in which a high-rise building was evaluated under two systems: reinforced concrete and steel, following the current regulations, evaluating the specific characteristics of the area and the regulations (loads, combinations, parameters, etc.) for each system using the ETABS v21 software. The results obtained showed that the height factor directly affected the lateral displacements, on the other hand, in the basal shear, the predominant value was that of the reinforced concrete structure with a value of 211.95kn compared to the steel structure with 201.15kn, likewise, the distortions between floors indicate that the reinforced concrete system presents a higher value of drift at each level. The ETABS analysis showed that the steel structure had better seismic behavior due to its flexibility and energy dissipation, while the concrete structures had higher stiffness and basal shear. The differences in lateral displacements favored steel, however, both complied with the drift limits according to E030.

Keywords-- Structural system, steel structure, reinforced concrete, seismic-resistant design..

Comportamiento sismorresistente de un sistema estructural de hormigón armado y sistema estructural metálico en la ciudad de Chiclayo.

Albert Hans Diaz Idrogo¹; Alwin Joseph Perez Correa¹; Jorge Luis Leiva Piedra¹; Jorge Humberto Olorte García¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19314782@utp.edu.pe, U19314551@utp.edu.pe, jleiva@utp.edu.pe, C23572@utp.edu.pe

Resumen— *Los movimientos sísmicos, afectan al 25% de las edificaciones a nivel mundial ocasionando la vulnerabilidad en las estructurales; el Perú, situado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, hace que sus edificaciones, tengan alta vulnerabilidad, lo que resalta la importancia de evaluar sistemas estructurales sismorresistentes para mitigar riesgos y garantizar la seguridad. El objetivo del presente estudio fue comparar el comportamiento Sismorresistente de un Sistema Estructural de Hormigón Armado y Sistema Estructural Metálico en la Ciudad de Chiclayo. Para ello se realizó un estudio en el que se evaluó una construcción de gran altura, bajo dos sistemas: concreto armado y metálico, conforme a la normativa vigente, evaluándose en cada uno sus características específicas del área y de la normativa (cargas, combinaciones, parámetros, etc.) utilizando el Software ETABS v21. Los resultados obtenidos evidenciaron que el factor altura afectaba directamente los desplazamientos laterales, por otra parte, en la cortante basal, el valor que predominó fue el de la estructura del concreto armado con un valor de 211.95 kn frente a la metálica con 201.15kn, asimismo, las distorsiones entre pisos nos indican que el sistema de concreto armado presenta mayor valor de deriva en cada nivel. El análisis en ETABS mostró que la estructura metálica tuvo mejor comportamiento sísmico por su flexibilidad y disipación de energía, mientras que las de concreto presento mayor rigidez y cortante basal. Las diferencias en desplazamientos laterales favorecen al acero, sin embargo, ambas cumplieron con los límites de derivación según la norma E030.*

Palabras claves: Sistema estructural, estructura metálica, concreto armado, diseño sismorresistente.

I. INTRODUCCIÓN

Los movimientos sísmicos, afectan al 25% de las edificaciones a nivel mundial, ocasionando la vulnerabilidad en las estructurales, llegando a ocasionar daños críticos que pueden generar el colapso de estas [1] [2]. El Perú, está ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, presenta “alta frecuencia sísmica” por la interacción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) en el 2024, reporto 420 sismos hasta el mes de agosto [3]. Por lo que es fundamental evaluar la "vulnerabilidad estructural" de las edificaciones en general y sobre todo de las "construcciones informales". Se estima que aproximadamente un 60% de las infraestructuras en el Perú son susceptibles de sufrir daños severos cuando ocurre un sismo [4], se muestra

que en el Perú se clasifica dentro del índice medio de riesgo frente a los desastres naturales, lo que evidencia su vulnerabilidad ante eventos que pueden afectar gravemente tanto a su población como a su infraestructura. Esta situación subraya la urgencia de implementar estrategias de prevención y mitigación para las zonas más afectadas [4] [5].

Por lo tanto, en Chiclayo la falta de supervisión técnica, el desarrollo descontrolado, junto con la construcción en

suelos inadecuados y el desconocimiento del diseño sísmico, aumentan la vulnerabilidad de los edificios [6] [7] [8]. Los edificios modulares tienen características estructurales que afectan su comportamiento sísmico de manera distinta a las construcciones tradicionales [9]. Se han llevado a cabo estudios para calcular el factor de reducción (R) en estructuras de concreto [10].

En la industria de la construcción, se han implementado estrategias modernas orientadas a la innovación y la mitigación de daños estructurales [11]. Esto se logra mediante inspecciones periódicas, estudios de suelos y el uso de espectros de diseño adecuados. Con este propósito, se han desarrollado diversos estudios enfocados en incentivar y mejorar el diseño estructural para que sea más resistente a las cargas sísmicas, que actualmente es el 30% [12] [13].

La evaluación de sistemas estructurales metálicos se enfrenta a una variedad de brechas tecnológicas en comparación con los sistemas estructurales construidos en concreto armado [7]. Los códigos y las normas peruanas actuales para evaluar estructuras metálicas son menos específicos, usados y desarrollados que los que se utilizan para evaluar estructuras de concreto armado [14].

Estos factores afectan la precisión y rigurosidad de las evaluaciones de estructuras metálicas. Los profesionales no solo carecen de conocimiento y capacitación técnica, sino que también están más acostumbrados al sistema de concreto armado, lo que puede resultar en una visión menos detallada de las estructuras metálicas [15] [14].

Actualmente se están desarrollando varios sistemas estructurales. Tal es así que, se llevó a cabo una investigación sobre el diseño de viviendas con estructuras metálicas. Donde

se evaluaron las características específicas del área y de la normativa (cargas, combinaciones, parámetros, etc.) utilizando el Software ETABS v21 [16], generando resultados en periodos y modos de vibración. Llegando a la conclusión de que estos tipos de estructuras son livianos y que su fabricación es menos costosa [17].

Así mismo, se realizó un estudio de factibilidad para la construcción de un edificio de gran altura, evaluando dos alternativas: concreto armado y metálico, conforme a la normativa vigente [16]. El estudio concluyó que el uso de una estructura metálica reduce el peso de la estructura hasta en un 45%, optimiza la cantidad de materiales y disminuye el tiempo de ejecución de la obra, acortando el plazo en un 50%. Además, el investigador recomendó la implementación de este tipo de sistema estructural [15].

Por otro lado, la rigidez en una edificación que sea de concreto armado y de una estructura metálica, es clave para resistir fuerzas externas como los sismos [15]. Las estructuras de concreto armado son muy rígidas pero pesadas y costosas, mientras que las metálicas son más ligeras y flexibles, lo cual les permite absorber mejor las fuerzas sísmicas [5]

Para mejorar la rigidez de las edificaciones, se pueden usar refuerzos como fibra de carbono o concreto especial, lo que aumenta la resistencia sin peso extra. Además, incorporar amortiguadores o cojinetes reduce hasta un 40% las vibraciones sísmicas [18]. También, materiales inteligentes como metales con memoria de forma o concretos autorreparables aumentan la durabilidad. Estas innovaciones buscan hacer las construcciones más seguras y resistentes, especialmente en áreas sísmicas [19].

Con la finalidad de seguir aportando, en 2022 se realizó un estudio que demostró que el sistema de concreto armado presenta una fuerza cortante en la base un 63.48% mayor que la de las estructuras metálicas, con un impacto sísmico reducido [20]. Además, el concreto armado mostró una disminución del 68.84% en los modos de oscilación y un 57.75% menos de desplazamientos laterales relativos en comparación con las estructuras metálicas, evidenciando una mayor elasticidad [8]. Esto destaca la importancia de elegir el sistema constructivo adecuado en zonas sísmicas para garantizar estabilidad estructural. La investigación tiene como objetivo determinar qué sistema, entre el concreto armado y el metálico, ofrece mejor comportamiento frente a sismos [21].

II. METODOLOGÍA

A. Área de estudio

El presente estudio se realizó en la ciudad de Chiclayo región de Lambayeque, la cual según la Norma E030 de Diseño Sismorresistente está categorizada como zona 4

debido a que es “altamente sísmica”.



Fig. 1 Mapa Sísmico de Lambayeque.

B. Unidades de evaluación

Las unidades evaluadas fueron dos estructuras, una de un sistema de concreto y el otro metálico, las cuales tienen las siguientes características. Área total 286.40 m², 6 pisos de altura.

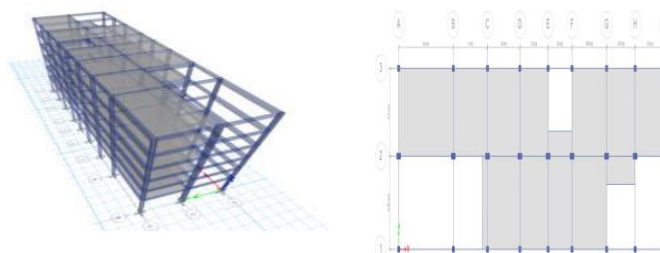


Fig. 2 Distribución del concreto armado

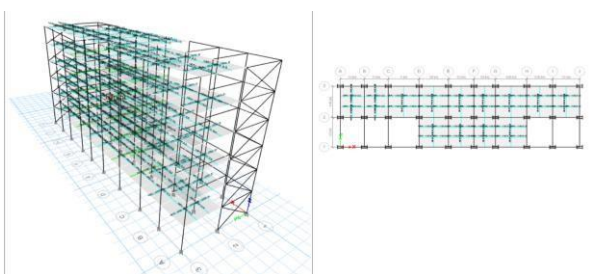


Fig. 3 Distribución del Metálico

- Característica de los materiales

Se evaluarán dos estructuras de concreto armado y estructuras metálicas las cuales tienen las siguientes características.

Tabla I CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Características de los materiales	
Resistencia del concreto (f'c)	210kg/cm2
Módulo de elasticidad (E)	15000*SQR (210) = 217340.65 kg/cm ²
Resistencia del acero en fluido	42000kg/cm2
Módulo de elasticidad del acero	2000000 kg/cm2
Peso volumétrico del concreto	24000 kg/cm3
Peso volumétrico del acero	7850 kg/cm3
Módulo de poisson del concreto	0.20

Los parámetros de medición fueron tomados teniendo en cuenta los siguientes procedimientos normalizados:

- Norma E.020 (cargas)
- Norma E.030(diseño sismorresistente)
- Norma E.060 (concreto armado)
- Norma E.090 (Estructuras metálicas)

C. Pre-dimensionamiento

De los sistemas estructurales establecidos se elaboró el predimensionamiento de vigas, columnas y losas, con el fin de establecer las dimensiones preliminares y cumplir con los requisitos de resistencia y rigidez exigidos por la norma E.030 de Diseño Sismorresistente, siendo los valores obtenidos:

Para vigas en concreto armado, se ha considerado una luz libre de 6.40m tomando como relación L/10 y L/12 dando como resultado 2 tipos de vigas V101(60x30cm) y V102(40x25cm). Para vigas en estructuras metálicas, se obtuvo vigas tipo W10X12, W 12X14, W 18X40 y W 36X135 que tienen el objetivo de minimizar el peso de la edificación permitiendo una mayor flexibilidad.

Para estructuras de concreto armado se tuvo en cuenta el tipo de columna (centradas, excéntricas o esquinadas), calculando primero el área tributaria para cada tipo de columna con el uso de la estructura, número de pisos obteniendo 2 tipos de columnas C1(30x30cm) y C2(30x50cm). Para estructuras metálicas se obtuvo las columnas W 12X87, W 14X68 W, 27X129 y W 30X132.

La losa con la que se trabajó para la estructura de concreto tuvo un espesor de 0.20 cm y para la estructura metálica se optó por placas colaborante de 38 mm (1-1/2”).

D. Cortante basal

La cortante basal de cada estructura se determinó a partir de los valores de coeficiente Basal, y el peso específico que nos brinda el Software Etabs para así tener el resultado final, como se muestra en la siguiente tabla II

Tabla II Cortante Basal - E.030

E. Desplazamientos laterales

Cortante Basal							
Concreto Armado				Estructura Metálica			
Coeficiente Basal		Peso Sísmico		Coeficiente Basal		Peso Sísmico	
Z	0.45	Nive l	Peso	Z	0.45	Niv el	Peso
U	1.00	6	164.52	U	1.00	6	147.79
S	1.10	5	206.23	S	1.10	5	164.99
TP	1.00	4	206.23	T p	1.00	4	164.99
TI	1.60	3	206.23	TI	1.60	3	164.99
Ro	7.00	2	206.23	R o	6.00	2	164.99
Lp	1.00	1	209.48	L p	1.00	1	164.99
La	1.00	Tota l	1198.9 l	L a	1.00	Tot al	975.13
C	2.50			C	2.50		
Ctx	60			Ct x	60		
Ctv	60			Ct v	60		
Fórmula Cortante Basal				Fórmula Cortante Basal			
$V = \frac{ZUCS}{R} * P$				$V = \frac{ZUCS}{R} * P$			

Los desplazamientos laterales fueron determinados teniendo en cuenta la norma E030, la cual se basó en el análisis dinámico de cada sistema estructural, teniendo en cuenta factores determinantes como el comportamiento sísmico, categoría de zona y valores de rigidez para cada tipo de estructura.

F. Diagrama de flujo

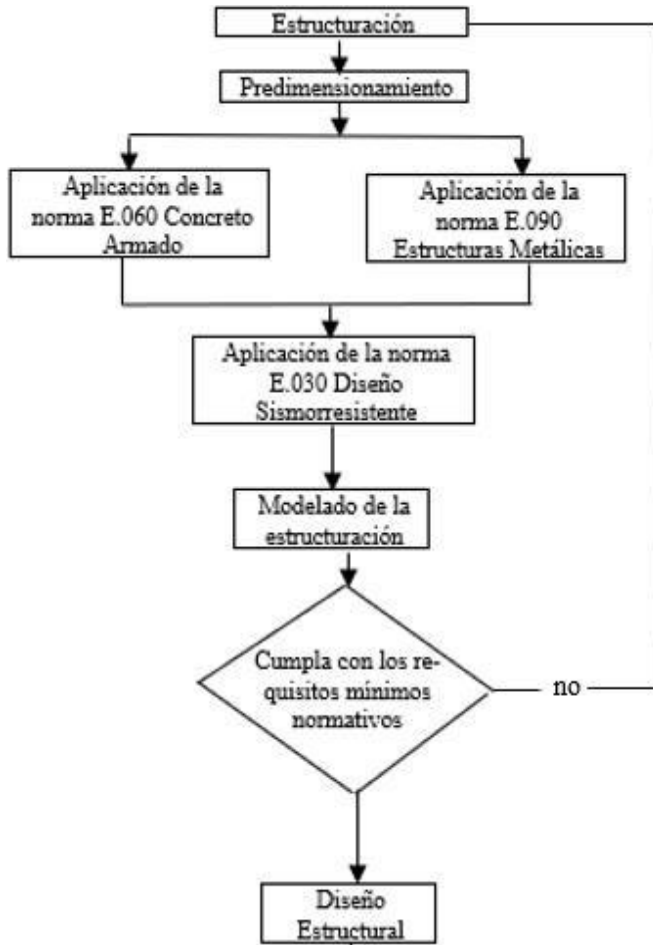


Fig. 4. Diagrama de Flujo

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Análisis de varianza para la cortante

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Pisos de Altura	100671.	1	100671.	31435.79	0.0000
B: Estructuras	311.17	1	311.17	97.17	0.0000
AB	166.774	1	166.774	52.08	0.0000
bloques	25.7923	2	12.8961	4.03	0.0286
Error total	92.8703	29	3.20243		
Total (corr.)	106918.	35			

Tabla III. Análisis de Varianza

$R^2 = 0.8965.$

En la tabla III, donde se muestra el análisis de varianza para determinar el efecto de los factores, piso de altura, estructuras y la combinación de ambos, frente a la varianza para cortante, podemos observar que los tres arrojaron un p

valor < 0.05 ; lo que nos permite inferir que tanto los niveles de altura, el tipo de estructura y su combinación, si tienen un efecto sobre la cortante y su capacidad de resistencia sísmica. Es por ello que, estos factores son muy importantes de tener en cuenta al momento de establecer la resistencia sísmica de una estructura, ya que, de existir irregularidades, se altera la respuesta estructural a las fuerzas aplicadas, provocando la concentración de las demandas sísmicas en elementos específicos, como muros de cortante o arriostramientos, lo que puede dar lugar a daños irreparables o incluso al colapso. Por ello, comprender y tener en cuenta estos efectos es esencial en el análisis y diseño de estructuras irregulares [22]. Por otro lado, [23] nos mencionan que, el comportamiento sísmico de las estructuras está estrechamente ligado a las características de sus elementos estructurales, incluidas la rigidez, la ductilidad, la resistencia y la capacidad de disipación de energía. Del mismo modo, en sistemas más rígidos (concreto), la distribución de fuerzas sísmicas es menos flexible, concentrando mayores cortantes en elementos individuales [24].

Tabla IV. Porcentaje del desplazamiento.

	Desplazamientos Laterales					
	Nivel – Porcentaje (%) para cada nivel					
	1	2	3	4	5	6
C.A	2.69	5.12	7.60	10.07	12.54	11.98
E.M	2.61	4.98	7.38	9.78	12.18	13.07

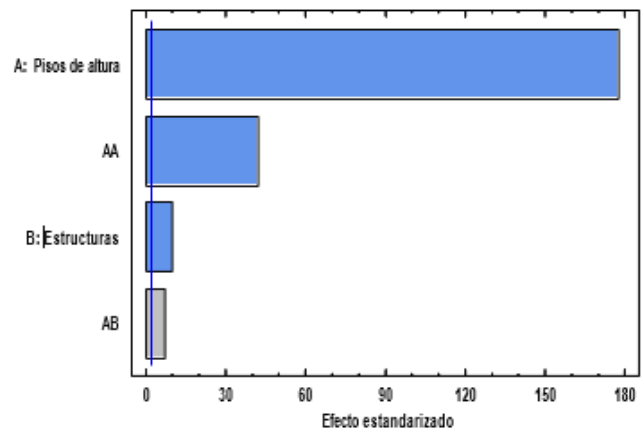


Fig. 5. Diagrama de Pareto.

En la tabla IV y en la figura 05 donde se revela que el factor “pisos de altura” es el de mayor impacto en la variabilidad de los resultados obtenidos, mostrando una relación directamente proporcional entre el número de pisos y el aumento en el cortante [25] [26]. Este comportamiento se observa particularmente en el sistema de concreto armado, que

presenta valores de cortante significativamente mayores en los niveles superiores, debido a su rigidez intrínseca y menor capacidad de disipación de energía en comparación con el sistema metálico [2]. Asimismo, la masa como la rigidez son parámetros muy básicos para estimar la fuerza nodal y el cortante de base del edificio. La distribución de la masa y la rigidez estructural del edificio desempeñan un papel vital en el entorno sísmico [27]. Por lo que, a medida que aumenta la altura del edificio, el efecto del retraso por cortante también se vuelve considerable en el diseño de edificios de gran altura [28].

En contraste, el sistema metálico muestra un aumento más controlado del cortante conforme se incrementa la altura, comportamiento que se atribuye a la inclusión de arriostramientos que permite una distribución más eficiente de las cargas laterales, mejorando así la estabilidad estructural. Tal es así que, las estructuras de acero son reconocidas desde como excelentes sistemas antisísmicos [29]. El acero posee propiedades únicas que lo hacen sismorresistente, en primer lugar, posee una elevada relación resistencia-peso, lo que permite construir sistemas estructurales ligeros pero resistentes, característica que ayuda a reducir las fuerzas de inercia que actúan sobre el edificio durante un terremoto [30], del mismo modo, posee una ductilidad que ayuda a las estructuras de acero a absorber y disipar la energía sísmica, reduciendo el potencial de fallo estructural [31]. Según la teoría de la resistencia de materiales y su aplicación en estructuras metálicas [32], los arriostramientos contribuyen significativamente a reducir los efectos del cortante, especialmente en edificaciones de gran altura, dando como resultado para concreto armado 50.89% en la dirección X-X, mientras que en la dirección Y-Y un 49.83% [33].

Cortante Basal

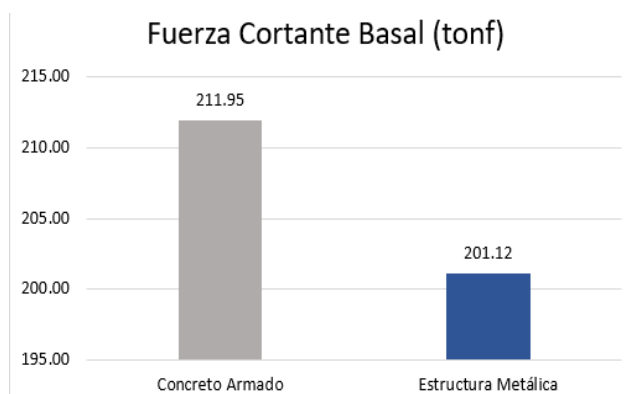


Fig. 6 Comparación de Fuerza cortante Basal

En la figura 06, donde se muestra los valores de cortante basal para cada sistema estructural. Los resultados obtenidos

indican que el sistema de concreto armado registra una cortante de 211.95 kN, superando al sistema metálico, que alcanza un valor de 201.12 kN, esta diferencia se debe, en gran medida a la mayor rigidez y peso propio del concreto armado [33]. Tal como lo menciona, quien nos dice que, el concreto armado tiene una mayor rigidez en comparación con las estructuras metálicas, lo que genera mayores fuerzas cortantes bajo cargas sísmicas [34]. Por otro lado, las estructuras metálicas, al ser más dúctiles, disipan energía mediante deformaciones plásticas, reduciendo así las fuerzas cortantes máximas [35].

Según la teoría de dinámica estructural, el cortante basal es directamente proporcional al peso de la estructura y a su respuesta a las aceleraciones sísmicas [36], también a la incorporación de placas en el sistema de concreto armado que aumentan un 30% la capacidad de rigidez y por otro parte arriostres para estructuras metálicas que disminuyen un 15% la fatiga acumulada en las conexiones dando como resultado 2.36% para la dirección X-X y 64.56% para dirección Y-Y [37]. Este comportamiento sugiere que la disposición de placas en el eje “X” y “Y” en la estructura de concreto armado contribuye a un mayor control sobre el cortante sísmico, especialmente en la dirección Y, donde la fuerza sísmica es más difícil de distribuir eficientemente [38] [39]. Asimismo, las estructuras de concreto por ser más pesadas, tienden a incrementar las fuerzas inerciales y, por ende, las cortantes [40].

Distorsiones entre piso

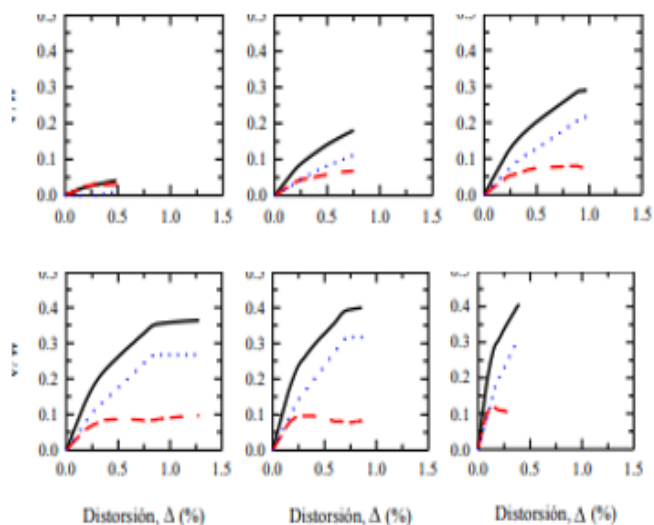


Fig. 7. Deriva entre pisos

(— Metálico — Concreto)

En la figura 07 se observa el comportamiento de las derivas de entrepiso en los sistemas estructurales de concreto

REFERENCIAS

- [1] C. S. Cornejo Sánchez, «Impactos de los desastres naturales en el crecimiento económico de Perú durante el periodo 1960-2017: el caso del agregado de todos los desastres naturales y de los relacionados con el clima», jun. 2021, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19370>
- [2] Y. Alejandra, S. Murrugarra, M. de los Ángeles, y A. E. A. Sarmiento, «Comparison of the Structural Response of the Most Common Building Systems in Peru and their Impact on the Cost of Multifamily Buildings», presentado en Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2022. doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.66.
- [3] J. E. D. L. C. Alvarez y Y. R. Roberto Roland, «Análisis comparativo del diseño estructural de una edificación regular e irregular de ocho niveles en sistema de pórticos aplicando la norma e.030 2003, 2016 y 2018 diseño sismorresistente en la ciudad de Lima», *Gaceta Técnica*, vol. 23, n.º 1, pp. 48-71, 2022.
- [4] G. Díaz *et al.*, «Aplicaciones del diseño generativo en la ingeniería estructural», *Revista ingeniería de construcción*, vol. 36, n.º 1, pp. 29-47, abr. 2021, doi: 10.4067/S0718-50732021000100029.
- [5] B. A. Muñoz Vargas, «Diseño estructural de un edificio multifamiliar de concreto armado de cinco niveles en el distrito de Santiago de Surco», feb. 2024, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/27151>
- [6] E. O. Salinas Salinas, «Diseño de la estructura metálica de casas para proyecto de vivienda del MIDUVI.», dic. 2023, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25558>
- [7] J. I. Gómez, «Estudio comparativo, a nivel de pre factibilidad, de edificio multifamiliar en altura, proyectado con estructura metálica y con sistemas constructivos industrializados», bachelor, Universidad Católica de Córdoba, 2020. Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://pa.bibdigital.ucc.edu.ar/2751/>
- [8] J. de D. Malpartida Iturregui, «Comparación del código sismorresistente peruano con los países de Chile, Colombia y Ecuador», *Repositorio Institucional - USS*, 2023, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11888>
- [9] D. R. Tacilla Alvarado, «Reforzamiento de viviendas de la zona monumental de Cajamarca hechas por adobe, con estructuras metálicas y mallas electrosoldadas.», *Universidad Nacional de Cajamarca*, mar. 2021, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4069>
- [10] E. Bobadilla y L. Antonio, «Modelamiento, análisis y diseño de una estructura metálica en la provincia de Gran

armado y metálico. Los resultados indican que el sistema de concreto armado presenta mayores valores de deriva en cada nivel, particularmente en los pisos superiores [41]. La teoría de respuesta sísmica, establece que las estructuras más rígidas, como las de concreto armado, suelen experimentar mayores derivas de entrepiso cuando la rigidez no es suficiente para absorber las deformaciones, por otro lado, las derivas de la estructura metálica destacan un patrón de comportamiento casi lineal y controlado [42] [43]. En sistemas de concreto, la rigidez suele estar concentrada en los muros o columnas de los pisos inferiores, mientras que, en los pisos superiores, las secciones se reducen, disminuyendo la rigidez progresivamente [44]. Por otro lado, el acero, posee una rigidez más uniforme, esto debido a que usa secciones más homogéneas en altura, así mismo, los marcos arriostrados, distribuyen mejor las deformaciones, dando un mejor control de desplazamientos en toda la altura [45]. Del mismo modo, el concreto armado, bajo cargas laterales, este se fisura (especialmente en vigas y nudos), reduciendo su rigidez efectiva, asimismo, en pisos superiores, donde las fuerzas son menores pero las deformaciones se acumulan, conlleva a derivas más altas [46]. A diferencia del acero, que fluye de manera dúctil y progresiva (ej. formación de rótulas plásticas en vigas), haciendo que la redistribución de esfuerzos reduzca la concentración de deformaciones en pisos específicos [23].

IV. CONCLUSIONES

Se determinó que el comportamiento sísmico de la estructura metálica y de concreto armado, empleando el Software ETABS, eran notoriamente diferentes, evidenciando la estructura de metal ventajas significativas en términos de flexibilidad y resiliencia, demostrando además su capacidad de disipar la energía mediante deformaciones plásticas, asimismo el uso de sistema de arriostres resalta su idoneidad para mitigar los efectos de eventos sísmicos severos. Por otro lado, se identificó que los desplazamientos laterales tienen un mayor desempeño para la estructura metálica debido a su alta disipación de energía con una diferencia en desplazamientos para cada nivel de 0.08% (1er nivel), 0.14% (2do nivel), 0.22(3er nivel), 0.29.

% (4to nivel), 0.36 % (5to nivel), 1.09 % (6to nivel) corroborando mejor comportamiento sísmico por parte de estructura metálica. Del mismo modo, se demostró que el cortante basal en estructuras de concreto armado tiene un valor superior en 5.38% a la de estructuras metálicas, esto debido a mayor rigidez en la base y peso propio. Finalmente, de evidenció que las derivas para concreto armado y estructuras metálicas se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma E030 por lo cual para estructuras de concreto armado sería 0.007 y para metálicas 0.010.

- Chimú», *Repositorio Institucional - UCV*, 2019, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3215753>
- [11] T. D. Nguyen y S. Adhikari, «The Role of BIM in Integrating Digital Twin in Building Construction: A Literature Review», *Sustainability*, vol. 15, n.º 13, Art. n.º 13, ene. 2023, doi: 10.3390/su151310462.
- [12] S. P. Muñoz Perez, S. J. Mendoza, y S. M. Quispe, «Una revisión sobre el rol de la inteligencia artificial en la industria de la construcción», *inycomp*, vol. 24, n.º 02, p. 23, may 2022, doi: 10.25100/iyv.v24i2.11727.
- [13] H. A. Rani, A. R. Radzi, A. Alias, S. Almutairi, y R. A. Rahman, «Factors Affecting Workplace Well-Being: Building Construction Projects», *Buildings*, vol. 12, p. 910, jun. 2022, doi: 10.3390/buildings12070910.
- [14] D. Guerrero, «Análisis técnico y económico del diseño por desempeño de edificios con estructura de acero utilizando arriostramientos concéntricos», *Gaceta Técnica*, vol. 20, n.º 1 (Enero-Junio), pp. 41-59, 2019.
- [15] G. E. O. Alfaro Hernández y A. G. Trujillo Mejía, «Diseño estructural de un edificio de concreto armado de siete pisos ubicado en Magdalena del Mar», jun. 2022, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/22551>
- [16] J. C. Gavidia Obregón y Y. S. Gonzales del Castillo, «Diseño y análisis estructural de una vivienda multifamiliar de 4 pisos, Nuevo Chimbote – 2020», *Repositorio Institucional - UCV*, 2021, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/78605>
- [17] E. Tapia Hernández, J. S. García Carrera, E. Tapia Hernández, y J. S. García Carrera, «Comportamiento de estructuras de acero durante los sismos de septiembre de 2017», *Ingeniería sísmica*, n.º 101, pp. 36-52, dic. 2019, doi: 10.18867/ris.101.499.
- [18] Z. Liu, C. Ji, G. Shi, y Y. Mo, «Structural safety risk prediction method for terminal building steel roof construction considering spatial and temporal variations», *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 224, p. 109126, ene. 2025, doi: 10.1016/j.jcsr.2024.109126.
- [19] A. P. Nolivós Cieza y J. J. Vilcabana Chuman, «Diseño de la infraestructura para el mejoramiento del servicio educativo de la IE N° 10018, Santa Rosa, Chiclayo, Lambayeque», *Repositorio Institucional - USS*, 2023, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12108>
- [20] C. S. Flores Sosa y Y. Y. Sandoval Guevara, «Evaluación del desempeño sísmico de las estructuras en rango inelástico de la I.E.S. “Mariano Melgar Valdiviezo” – J.L. Ortiz», *Repositorio Institucional - USS*, 2020, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8930>
- [21] L. J. Aguilar Monteza, «Desempeño Sísmico Estructural en un Sistema Aporticado Mediante el Análisis Estático no Lineal», *Repositorio Institucional - USS*, 2023, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11118>
- [22] M. Aslani y P. Tehrani, «Seismic response and collapse capacity assessment of dual RC buildings with vertical irregularities in shear walls», *Sci Rep*, vol. 15, n.º 1, p. 9966, mar. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-94328-z.
- [23] D. Santos, J. Melo, y H. Varum, «Code Requirements for the Seismic Design of Irregular Elevation RC Structures», *Buildings*, vol. 14, n.º 5, Art. n.º 5, may 2024, doi: 10.3390/buildings14051351.
- [24] Z. Qu, Q. Shi, y B. Wang, «Experimental study on seismic performance of reinforced concrete columns with unilateral wing walls», *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 178, p. 108498, mar. 2024, doi: 10.1016/j.soildyn.2024.108498.
- [25] O. Zamora Díaz-Comas, «Influencia del refuerzo mediante tejidos de polímeros reforzados con fibras en el desempeño ante carga de sismo de una edificación de hormigón armado.», *Hormigón y acero*, vol. 74, n.º 301, pp. 35-46, 2023.
- [26] B. Cagua-Gómez, A. Tola-Tola, J. Pilatasig-Caizaguano, y P. Aguilar-Rosero, «Influencia sobre el cortante basal y derivas de edificaciones al incluir una fracción de la carga viva en la carga sísmica reactiva», *Investigación y Desarrollo*, vol. 16, n.º 1, Art. n.º 1, dic. 2022, doi: 10.31243/id.v16.2022.1667.
- [27] S. P. Bhattacharya y Chakraborty, «Estimation of storey shear of a building with Mass and Stiffness variation due to Seismic excitation», *INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL AND STRUCTURAL ENGINEERING*, vol. 1, n.º 3, p. 8, 2010.
- [28] H. Gaur y R. K. Goliya, «Mitigating shear lag in tall buildings», *Int J Adv Struct Eng*, vol. 7, n.º 3, pp. 269-279, sep. 2015, doi: 10.1007/s40091-015-0098-1.
- [29] C. Fang, W. Wang, C. Qiu, S. Hu, G. A. MacRae, y M. R. Eatherton, «Seismic resilient steel structures: A review of research, practice, challenges and opportunities», *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 191, p. 107172, abr. 2022, doi: 10.1016/j.jcsr.2022.107172.
- [30] S. Scott, «Seismic Resistant Steel Structures: Ensuring Safety in High-Risk Areas», Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.hilarispublisher.com/open-access/seismic-resistant-steel-structures-ensuring-safety-in-highrisk-areas-98866.html>
- [31] P. Papadopoulos, «New nonlinear anti-seismic steel device for the increasing the seismic capacity of multi-storey reinforced concrete frames», *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 21, oct. 2012, doi: 10.1002/tal.648.
- [32] G. Trujillo y W. Kelvin, «Propuesta de diseño estructural con sistema dual para un edificio hexagonal aplicando un software computacional, Trujillo, La Libertad, 2022», *Universidad Privada del Norte*, ene. 2023, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en:

- <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6382370>
- [33] G. C. Guerra Utrilla, «Análisis y diseño estructural con el software ETABS de un edificio comercial de 5 niveles de concreto armado, Huánuco - Huánuco -2022», *Universidad de Huánuco*, 2023, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.udh.edu.pe/xmlui/handle/20.500.14257/4007>
- [34] I. Thapa, A. Bhandari, y B. Subedi, «Comparative Study of Structural Analysis between Reinforced Cement Concrete Structure and Steel Framed Structure», vol. 07, pp. 3633-3637, ago. 2020.
- [35] A. V. Lopes, T. Lou, y S. M. R. Lopes, «On the ductility of RC beam section: A revision and up to date of conclusions», *Engineering Structures*, vol. 322, p. 119105, ene. 2025, doi: 10.1016/j.engstruct.2024.119105.
- [36] J. E. De La Cruz Alvarez y R. R. Yoctun Rios, «Análisis comparativo del diseño estructural de una edificación regular e irregular de ocho niveles en sistema de pórticos aplicando la norma E.030 2003, 2016 y 2018 diseño sismorresistente en la Ciudad de Lima», *Gaceta Técnica*, vol. 23, n.º 1, pp. 48-71, jun. 2022, doi: 10.51372/gacetatecnica231.5.
- [37] A. S. Arevalo Casas, «Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones en el A.H. San José, distrito de San Martín de Porres», *Evaluation of the seismic vulnerability in self-constructed houses according to the National Regulation of Buildings in the San José H.A., district of San Martín de Porres*, ene. 2020, doi: 10.19083/tesis/648665.
- [38] M. J. R. Vargas, F. L. C. Ortiz, C. A. T. Palacios, M. A. C. Flores, y L. T. Berrocal, «Análisis sísmico de fuerzas estáticas equivalentes de un pórtico de 3 niveles», *Yotantsipanko*, vol. 2, n.º 2, Art. n.º 2, dic. 2022, doi: 10.54288/yotantsipanko.v2i2.24.
- [39] L. W. Morales, J. L. Santamaria, W. Caicedo, y F. Tipán, «Hormigón Estructural de Baja Densidad para Edificaciones», *INGENIO*, vol. 2, n.º 2, Art. n.º 2, nov. 2019, doi: 10.29166/ingenio.v2i2.1704.
- [40] X. Liang, J. Peng, y R. Ren, «A state-of-the-art review: Shear performance of the concrete beams reinforced with FRP bars», *Construction and Building Materials*, vol. 364, p. 129996, ene. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129996.
- [41] S. P. M. Pérez, «Correlación en costos de un diseño de una cimentación superficial rígida y flexible considerando la consolidación unidimensional.», *Epistemia Revista Científica*, vol. 4, n.º 3, Art. n.º 3, nov. 2020, doi: 10.26495/re.v4i3.1310.
- [42] C. R. P. Torres, «Diseño estructural de vigas con membrana inferior y su eficacia de espacios arquitectónicos», *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, vol. 3, n.º 3, Art. n.º 3, 2020, doi: 10.25127/ucni.v3i3.632.
- [43] W. Pacori Arizaca, «Vulnerabilidad sísmica en las edificaciones educativas públicas de concreto armado en la ciudad de Ayaviri, Puno - 2018», *Universidad Nacional del Altiplano*, oct. 2019, Accedido: 29 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12576>
- [44] M. M. Ali y K. Al-Kodmany, «Structural Systems for Tall Buildings», *Encyclopedia*, vol. 2, n.º 3, Art. n.º 3, sep. 2022, doi: 10.3390/encyclopedia2030085.
- [45] P. Martina y D. Lignos, «Seismic design and performance of steel concentrically braced frame buildings with dissipative floor connectors», *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 51, sep. 2022, doi: 10.1002/eqe.3733.
- [46] Y. Wen, G. Cai, P. B. Malla, H. Kikuchi, y C. Xie, «Seismic Behavior of Resilient Reinforced Concrete Columns with Ultra-High-Strength Rebars Under Strong Earthquake-Induced Multiple Reversed Cyclic Loading», *Buildings*, vol. 14, n.º 12, Art. n.º 12, dic. 2024, doi: 10.3390/buildings14123747.