

Comparison of the Structural Response of the Most Common Building Systems in Peru and their Impact on the Cost of Multifamily Buildings

Yris Alejandra, Samané Murrugarra, Bach.¹; María de los Ángeles, Arana Díaz Bach.² Anita Elizabet Alva Sarmiento, Ing³

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00033645@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00016229@upn.pe

³ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. anita.alva@upn.edu.pe

Abstract– This research was carried out with the purpose of making known the structural characteristics of the most common construction systems in Peru: MDL, Aporticados, Masonry and Dual to determine which is the system that presents better seismic behavior and its impact on the cost; from the documentary review performed in our thesis "Characterization of the Structural Response of the Systems Walls Of Limited Ductility, Aporticado, Masonry and Dual and its Incidence on the Cost in Multifamily Buildings, Cajamarca 2021", where, the structural variables were analyzed: maximum interstory displacement, basal shear, maximum drift, dynamic shear, shear at the base, fundamental period of the structure, spectral acceleration, and cost by means of data compilation formats, which were subsequently compared by means of percentage of variation of the aforementioned parameters. The results yielded structural and economic comparisons by parameter for each system and heights considered, where low buildings were taken as 1, 2 and 3 stories, medium buildings as 5 stories, and tall buildings as 7, 8, 9 and 10 stories.

Keywords: structural systems, structural response, seismic behavior.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.66>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Comparación de la Respuesta Estructural entre los Sistemas de Construcción más comunes en Perú y su Impacto en el Costo de Edificaciones Multifamiliares

Yris Alejandra, Samané Murrugarra, Bach.¹; María de los Ángeles, Arana Díaz Bach.² Anita Elizabet Alva Sarmiento, Ing³

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00033645@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00016229@upn.pe

³ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. anita.alva@upn.edu.pe

Resumen– Se realizó esta investigación con el propósito de dar a conocer las características estructurales de los sistemas de Construcción más comunes en Perú: MDL, Aporticados, Mampostería y dual para determinar cuál es el sistema que presenta mejor comportamiento sísmico y su impacto en el costo; a partir de la revisión documental realizada en nuestra tesis “Caracterización de la Respuesta Estructural de los Sistemas Muros De Ductilidad Limitada, Aporticado, Albañilería y Dual y su Incidencia en el Costo en Edificaciones Multifamiliares, Cajamarca 2021” [1], donde, se analizaron las variables estructurales: desplazamiento máximo de entrepiso, cortante basal, máxima deriva, cortante dinámica, cortante en la base, periodo fundamental de la estructura, aceleración espectral, y el costo mediante formatos de compilación de datos, que posteriormente se compararon por medio de porcentaje de variación de los parámetros mencionados. Los resultados arrojan comparativas estructurales y económicas por parámetro respecto a cada sistema y alturas consideradas, donde tomaron como edificaciones bajas a alturas de 1, 2 y 3 plantas, edificaciones medias de 5 plantas, y edificaciones altas de 7, 8, 9 y 10 plantas.

Palabras Clave: sistemas estructurales, respuesta estructural, comportamiento sísmico.

I. INTRODUCCIÓN

Es preciso destacar que este documento está basado en la tesis de nuestra autoría [1] que incluye toda la base de datos y bibliografía utilizada para la misma.

En el Cinturón de Fuego del Pacífico tienen lugar el 90% de los terremotos del mundo y el 80% de los terremotos más grandes, como el terremoto de Valdivia de 1960 (9.4Mw) en el país vecino de Chile, que fue el de mayor magnitud conocido por el hombre. Esto se debe al proceso de convergencia de la placa del Pacífico con otras que rodean a países como Chile, Ecuador, Perú, entre otros [2], por lo cual estos siempre se encuentran en riesgo sísmico.

En el Perú como indica [3], los eventos sísmicos siempre han originado grandes pérdidas económicas y humanas. Como en el terremoto del 15 de agosto del 2007 en Pisco (7.9Mw) que dejó 655,674 personas entre damnificadas y afectadas, 596 fallecidos, 1,292 heridos y 139,521 viviendas entre destruidas, inhabitables y afectadas; donde 90% de los daños se produjeron en la ciudad de Pisco, indico [4].

Además, la población peruana tiene un incremento poco controlado o planificado en áreas urbanas, generalmente sin la

asesoría, materiales, estudios o diseños adecuados [5]; generando así viviendas con alta vulnerabilidad sísmica.

Por ello esta investigación se centra en evaluar la respuesta estructural y su impacto en el costo de los sistemas de construcción más comunes para las edificaciones multifamiliares en el territorio peruano, tales como los muros de ductilidad limitada (MDL), Aporticados, Mampostería y dual.

Tenemos algunos **trabajos relacionados**, tanto locales, nacionales e internacionales que guardan relación con la determinación de la respuesta estructural y su impacto en el costo de los diferentes sistemas en estudio como:

“Comparación entre los sistemas de muros de ductilidad limitada y Mampostería confinada en una vivienda multifamiliar en la urbanización Santa Margarita. Veintiséis de octubre-Piura. 2020” de Deyra Escobar, Miguel Steve y Otero Farfán, Marcio Adrián de Jesús (2020), [6] esta investigación tuvo como objetivo realizar una comparativa entre los dos sistemas anteriormente mencionados para determinar el que presenta mejor características estructurales en una edificación de 5 plantas. Para lograr este objetivo realizaron presupuestos y modelos para ambos sistemas en la ubicación indicada, además de sus respectivos análisis sísmicos con el software ETABS; a partir de lo cual concluyeron que, a nivel de costos, tiempos de ejecución e impactos socioeconómicos, el sistema de MDL presenta mayores ventajas frente al sistema de Mampostería y a nivel de diseño estructural ambos sistemas son seguros.

Otro estudio que se tuvo en cuenta fue [7], cuyo objetivo fue determinar las diferencias del comportamiento sísmico en una edificación de 13 plantas entre el sistema dual y Aporticados, para ello se modeló las edificaciones con el software ETABS 2016.1.2 realizando análisis sísmicos estáticos y dinámicos para obtener desplazamientos de respuesta, distorsiones y momento de volteo, con lo cual concluyó que el sistema más recomendable es el sistema dual en el diseño de la estructura.

Y el estudio [8] quien tuvo como objetivo analizar el comportamiento estructural de ambos sistemas y sus diferencias ante eventos sísmicos. Para lo cual realizó el diseño estructural, sísmico y el modelamiento de ambos sistemas con el programa ETABS V.2016.2.1 se obtuvo que el sistema Aporticados es

mucho más flexible, que el sistema estructural de Mampostería confinada que tiende a ser más rígido; sin embargo, en otros parámetros como distorsiones ambos se encuentran bajo la norma.

Este estudio se justifica debido a la necesidad de edificaciones sismorresistentes que brinden seguridad a la población, sobre todo dado nuestro registro histórico es preciso promover y facilitar la evaluación de la eficacia de los sistemas más comunes del Perú, teniendo en cuenta su comportamiento ante un sismo y relación con el costo.

Es por ello, que el objetivo de esta investigación es caracterizar y definir el sistema o sistemas con la mejor respuesta estructural de los sistemas de muros de ductilidad limitada, Aperticados, Mampostería y dual y su Impacto en el costo en edificaciones multifamiliares.

II. METODOLOGÍA

A. Proceso para definir la población

Para los criterios de búsqueda y selección de documentos para la población, se ingresó a los portales de búsqueda de datos de alta confiabilidad como lo son: Google Académico, Revista Ciencia e Ingeniería, UPEU, Repositorio de la Universidad Privada del Norte, Repositorio de la Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas (UPC), Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y las palabras clave que delimitan el tema en estudio como: Respuesta estructural, comportamiento sísmico, análisis sísmico, modelamiento estructural mediante software, resistencia y costo. Para los criterios de inclusión se tomó en cuenta que el año de publicación este comprendida entre los años 2010 y 2020, es decir con 10 años de antigüedad. Además, se tomó en cuenta base de datos en idioma español e inglés, ya que hay muchas fuentes primarias relacionadas al tema de estudio en estos dos idiomas.

Dentro de las bases de datos encontradas, se consideraron tesis de pregrado y posgrado, artículos de investigación, que tengan un alto nivel de relación con el tema en estudio, debido a que la información es mucho más clara y detalla en este tipo de publicaciones.

B. Proceso para definir la muestra

Los criterios utilizados para determinar la muestra, es decir de exclusión, fueron que la tesis seleccionada posea relación directa con el objetivo de comparar la respuesta estructural y el costo de los sistemas en estudio; para ello debe poseer análisis sísmicos estáticos y dinámicos los cuales deben estar regidos bajo la norma de E.030, además encontrarse dentro del territorio nacional, teniendo como requisito mínimo ser viviendas multifamiliares y contar con la comparación de al menos dos sistemas, procurando que también posean presupuestos. Por otro lado, los artículos deben alinearse con el objetivo propuesto, sin embargo, pueden ser considerados sin necesidad que cumplan todos los requisitos anteriormente mencionados para las tesis, si y solo si la fuente es altamente confiable y la información competente, además debe propiciar la discusión y las comparaciones. Finalmente, toda la muestra seleccionada debe estar dentro de la línea de investigación

propuesta y adecuarse a las consideraciones éticas que siguió la investigación.

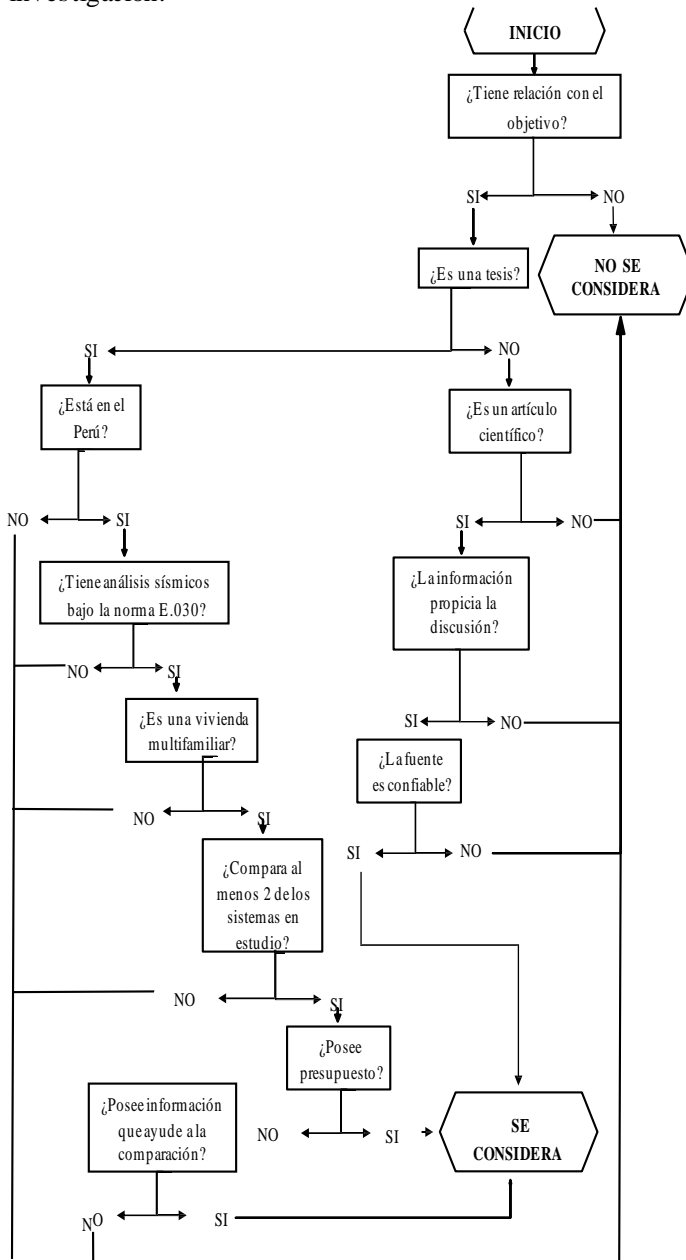


Fig. 1 Flujograma para definición de la muestra. Adaptado de Arana, M., & Samane, Y. A. [1]

C. Técnicas y materiales para recolección de datos

La técnica utilizada para la recolección de datos fue la revisión documental, ya que en esta investigación se recopilaban 16 fuentes mediante una revisión profunda de la bibliografía e investigaciones sobre el tema, para luego comparar las características o variables de estudio más importantes y llegar a un resultado relevante.

Como material de recolección de datos se utilizaron ficha resumen y fichas de recolección de datos.

D. Procedimiento de recolección de datos

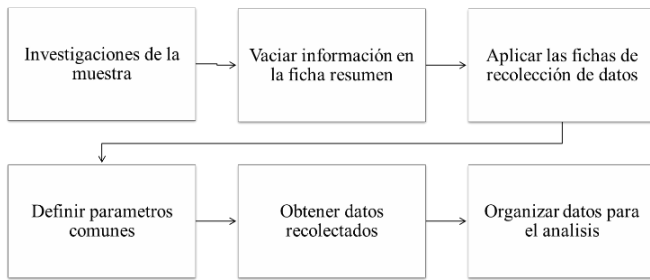


Fig. 2 Flujoograma de recolección de datos
Adaptado de Arana, M., & Samane, Y. A. [1]

E. Técnicas y materiales para análisis de datos

La técnica de análisis de datos es la estadística descriptiva, ya que se realizaron diversas tablas y gráficos para comparar datos obtenidos y caracterizar los sistemas en estudio.

El material para el análisis de datos fue las hojas de cálculo en Excel, ya que este programa te permite realizar tablas y gráficos a partir de parámetros principales obtenidos de las fichas de recolección de datos que se desee analizar.

De la recolección de datos se consideraron los siguientes parámetros comunes: desplazamiento máximo de entre piso, cortante basal, máximas derivas, fuerza cortante dinámica, fuerza cortante de la base estática, aceleración espectral, periodo fundamental y costo; los cuales sirvieron para realizar las comparaciones y desarrollar nuestra discusión, para así poder determinar el sistema con mejor respuesta estructural.

Para facilitar el análisis de la información se clasifico por medio de los siguientes aspectos técnicos: Tipos de suelos, zona, sistema estructural, área techada, peso, número de pisos.

F. Procedimiento de análisis de datos

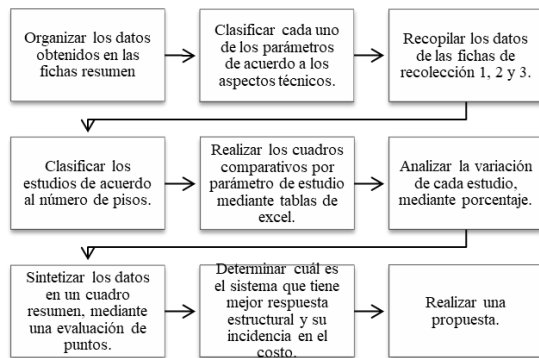


Fig. 3 Flujoograma de análisis de datos.
Adaptado de Arana, M., & Samane, Y. A. [1]

TABLA I
ANÁLISIS DE DATOS POR PARÁMETRO

N° TESIS	PARÁMETRO	N° PISOS	SISTEMAS				%	
			MDL	PORTICA D	ALBAÑILERIA	DUAL	MDL	Albañilería
5	Desplazamiento Máximo de Entrepiso (cm)	5	DIR X-X =	0.21		0.23	100%	110%
			DIR Y-Y =	0.11		0.17	100%	155%
6	Desplazamiento Máximo de Entrepiso (cm)	5	DIR X-X =	0.00033		0.00031	106%	100%
			DIR Y-Y =	0.00033		0.00047	100%	142%
9	Desplazamiento Máximo de Entrepiso (cm)	5	DIR X-X =	0.8709	1.1007		100%	126%
			DIR Y-Y =	0.9372	1.349		100%	144%
14	Desplazamiento Máximo de Entrepiso (cm)	5	DIR X-X =		3.8072	0.1871	100%	2035%
			DIR Y-Y =		3.734	0.0451	100%	8279%

N° TESIS	PARÁMETRO	N° PISOS	SISTEMAS				%	
			MDL	APORTICADO	ALBAÑILERIA	DUAL	Albañilería	MDL
3	Presupuesto	5	S/ 261,315.90		S/ 204,990.11		100%	127%
4	Presupuesto	5			S/ 662,131.94	S/ 1,057,006.42	100%	160%
5	Presupuesto	5	S/ 562,178.07		S/ 641,031.49		100%	114%
8	Presupuesto	7	S/ 2,752,267.41			S/ 3,002,676.03	100%	109%
9	Presupuesto	5	S/ 495,997.72	S/ 507,364.92			100%	102%
10	Presupuesto	8	S/ 983,701.90			S/ 985,770.90	100%	100.21%
12	Presupuesto	5	S/ 252,937.56		S/ 370,867.87		100%	147%
16	Presupuesto	2	S/ 37,950.80	S/ 55,518.54			100%	146%

Adaptado de Arana, M., & Samane, Y. A. [1]

TABLA II
ANÁLISIS DE DATOS POR PARÁMETRO Y NÚMERO DE PISOS

PARÁMETRO	N° TESIS					
	5		6		9	
Sistema Estructural	MDL	Albañilería	MDL	Albañilería	MDL	Aporticado
Tipo suelo	S2	S2	S2	S2	S2	S2
Zona (Z)	3	4	3	4	3	4
Área Techada	142.50 m2	142.50 m2	133.12 m2	133.12 m2	419.00 m2	419.00 m2
Peso Total (P)	632.03 Tn	691.86 Tn	827.39 Tn	883.88 Tn	267.38 Tn	267.38 Tn
Desplazamiento Máximo de Entrepiso (cm)	DIR X-X = 0.21	0.23	0.00033	0.00031	0.8709	1.1007
	DIR Y-Y = 0.11	0.17	0.00033	0.00047	0.9372	1.349
Relación	DIR X-X = MDL < Albañilería	MDL > Albañilería	MDL < Albañilería	MDL > Albañilería	MDL < Aporticado	Albañilería < Aporticado
	DIR Y-Y = MDL < Albañilería	MDL < Albañilería	MDL < Albañilería	MDL < Aporticado	Albañilería < Aporticado	Albañilería < Aporticado
% Variación	DIR X-X = 10%	6%	26%	1935%	DIR Y-Y = 55%	42%
						8179%
PARÁMETRO	N° TESIS					
	3		4		5	
Sistema Estructura	Albañilería	MDL	Albañilería	Dual	MDL	Albañilería
Tipo suelo	S2	S2	S1	S2	S2	S2
Zona (Z)	4	4	3	3	3	3
Área Techada	190.00 m2	190.00 m2	264.14 m2	264.14 m2	142.50 m2	142.50 m2
Peso Total (P)	943.00 Tn	3041.00 Tn	1102.30 Tn	1527.35 Tn	632.03 Tn	691.86 Tn
Presupuesto	S/ 204,990.11	S/ 261,315.90	S/ 662,131.94	S/ 1,057,006.42	S/ 562,178.07	S/ 641,031.49
Presupuesto de Estructura	S/ 122,092.99	S/ 189,359.33	S/ 662,131.94	S/ 1,057,006.42	S/ 296,468.45	S/ 304,605.63
% incidencia de Estructura	60%	72%	100%	100%	53%	48%
Presupuesto de Cimentaciones	S/ 19,111.71	S/ 27,056.75	S/ 24,350.79	S/ 47,109.07	S/ 47,300.75	S/ 57,847.29
% incidencia de Cimentaciones	9%	10%	4%	4%	8%	9%
Presupuesto de Arquitectura	S/ 26,450.57		S/ 151,988.19	S/ 139,746.49	S/ 110,906.96	S/ 159,909.94
% incidencia de Arquitectura	13%		23%	13%	20%	25%
Presupuesto de Instalaciones						
% incidencia de Instalaciones						
Relación	Albañilería < MDL		Albañilería < Dual		MDL < Albañilería	
% Variación	27%		60%		14%	

Adaptado de Arana, M., & Samane, Y. A. [1]

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la información recolectada, como se indica en la metodología los datos fueron ordenados como se muestra en las tablas I y II; a partir de estas se generaron las tablas resumen III, IV y V, en las cuales podemos observar que se asignó un puntaje a cada sistema en cada parámetro; donde el puntaje máximo fue de 3 puntos y se lo otorgo al sistema más beneficioso, mientras que al menos favorable, el mínimo de 0 puntos.

TABLA III
TABLA RESUMEN DE LOS PARÁMETROS EN ESTUDIO PARA EDIFICACIONES BAJAS

Sistema	Edificaciones Bajas			
	MDL	Dual	Albañilería	Aporticado
Desplazamiento máx. de entre piso	-	-	-	-
Cortante Basal	1	-	2	3
Máx. Derivas	3	-	2	1
Fuerza Cortante Dinámica	-	-	-	-
Fuerza Cortante Base	1	-	2	3
Aceleración Espectral	-	-	-	-
Presupuesto	2	-	3	1
Periodo fundamental	-	-	2	1
PROMEDIO	1.75	0	2.2	1.8

Adaptado de Arana, M., & Samane, Y. A. [1]

TABLA IV
TABLA RESUMEN DE LOS PARÁMETROS EN ESTUDIO PARA EDIFICACIONES MEDIAS

Sistema	Edificaciones Medias			
	MDL	Dual	Albañilería	Aporticado
Desplazamiento máx.	3	-	2	1
Cortante Basal	0	3	1	2
Máx. Derivas	3	1	2	0
Fuerza Cortante Dinámica	2	3	1	0
Fuerza Cortante Base	1	0	2	3
Aceleración Espectral	3	-	2	1
Presupuesto	3	0	2	1
Periodo fundamental	3	2	1	0
PROMEDIO	2.25	1.5	1.63	1

Adaptado de Arana, M., & Samane, Y. A. [1]

TABLA V
TABLA RESUMEN DE LOS PARÁMETROS EN ESTUDIO PARA EDIFICACIONES ALTAS

Sistema	Edificaciones Altas			
	MDL	Dual	Albañilería	Aporticado
Desplazamiento máx.	-	-	-	-
Cortante Basal	1	3	0	2
Máx. Derivas	3	2	1	0
Fuerza Cortante Dinámica	2	3	0	1
Fuerza Cortante Base	1	3	0	2
Aceleración Espectral	2	2	-	-
Presupuesto	2	1	-	-
Periodo fundamental	2	1	-	-
PROMEDIO	1.86	2.14	0.25	1.25

Adaptado de Arana, M., & Samane, Y. A. [1]

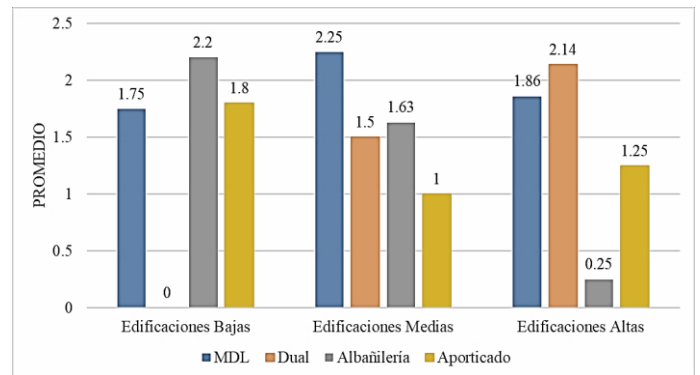


Fig. 4 Diagrama de resultados de puntuación de los sistemas estudiados. Adaptado de Arana, M., & Samane, Y. A. [1]

Al comparar los resultados del parámetro *presupuesto* con los antecedentes, en las edificaciones bajas, se pudo verificar que coincide con la jerarquía inferida; este mismo parámetro en las edificaciones medias en la tesis de Deyra Escobar, Miguel Steve y Otero Farfán, Marcio Adrián de Jesús (2020) también corrobora la jerarquía deducida, ya que el sistema más económico es el de Mampostería confinada teniendo un costo por metro cuadrado de 550 a comparación del MDL que tiene un costo de 750 por metro cuadrado. Finalmente, al comparar las estructuras altas con la tesis de Mestanza Jaque, Jhordy Frantz (2019) se pudo verificar que coincide con la jerarquía inferida, ya que el sistema que tiene menor costo constructivo y de reparación en caso de daños por eventos sísmicos de gran magnitud, es el sistema de MDL, aunque este solo puede ser utilizado hasta 8 plantas según la normativa de diseño sísmorresistente E.030.

En el parámetro del *periodo fundamental* de la estructura, para asignar el puntaje se consideró como si el suelo fuese blando, por lo que se dio el puntaje mayor a la estructura con mayor rigidez es decir menor periodo. Al comparar el periodo fundamental de la estructura, en las edificaciones bajas con el antecedente de Ladera Romero, Jimmy Percy (2019), se pudo verificar que no coincide con la jerarquía inferida, ya que el periodo fundamental del sistema Aporticados ($X=0.393$, $Y=0.391$) es mayor que la del sistema de Mampostería confinada ($X=0.219$, $Y=0.190$) en ambos sentidos, lo que indica que la variación entre direcciones depende del diseño y distribución de los elementos. Al comparar este mismo parámetro en las edificaciones medias con la tesis de Deyra Escobar, Miguel Steve y Otero Farfán, Marcio Adrián de Jesús (2020) se pudo verificar que coincide con la jerarquía inferida, ya que el periodo fundamental del sistema de Mampostería es mayor que la del sistema de MDL. Aunque no se pudo comparar las edificaciones altas con la tesis de Mestanza Jaque, Jhordy Frantz (2019) ya que no contaba con este parámetro. Finalmente es importante mencionar que, si el periodo fundamental de vibración de una estructura es cercano al periodo de vibración del suelo, se puede producir el fenómeno de resonancia, aumentando significativamente las deformaciones y aceleraciones de la edificación y en

consecuencia los esfuerzos en sus elementos estructurales, causando daños significativos en la estructura como indica [9].

Al comparar con los antecedentes, la **fuerza cortante en la base** para estructuras bajas con Ladera Romero, Jimy Percy (2019), se pudo verificar que no coincide con la jerarquía inferida, ya que la fuerza cortante en la base del sistema Aporticados (133.93) es mayor que la del sistema de Mampostería confinada (122.67) en ambos sentidos, lo que indica que la variación depende mucho del área, el diseño y distribución de los elementos. Al comparar este mismo parámetro en las edificaciones medias con la tesis de Deyra Escobar, Miguel Steve y Otero Farfán, Marcio Adrián de Jesús (2020) se pudo verificar que coincide con la jerarquía inferida, ya que la cortante en la base de sistema MDL es mayor que la del sistema de Mampostería confinada. Finalmente, al comparar las estructuras altas con la tesis de Mestanza Jaque, Jhordy Frantz (2019) se pudo verificar que coincide con la jerarquía inferida, ya que la cortante en la base de sistema dual (883.132) es mayor que la del sistema de Aporticados (772.741).

La **aceleración espectral** mide como responde la estructura a acciones que se le inducen desde el exterior para evaluar su comportamiento sísmico. Sin embargo, no se pudo comparar las jerarquías inferidas ya que los antecedentes no contaban con este parámetro.

El parámetro de la **cortante basal** es la acumulación de fuerzas cortantes de cada piso y se refleja en la base de la edificación [10]; por lo que, es importante conocer estas jerarquías ya que, a mayor cortante basal, mayor será la fuerza a la que estará sometida cada elemento estructural lo que afectará también económicamente dependiendo de su altura. Al comparar las estructuras bajas con el antecedente de Ladera Romero, Jimy Percy (2019) se pudo verificar que no coincide con la jerarquía inferida, ya que la cortante basal de sistema Aporticados (133.93) es mayor que la del sistema de Mampostería confinada (122.67) en ambos sentidos, esto indica que la jerarquía puede ser alterada y no es fija; esto puede deberse al tamaño y forma del diseño de la edificación, mientras al comparar las edificaciones medias con la tesis de Deyra Escobar, Miguel Steve y Otero Farfán, Marcio Adrián de Jesús (2020) se pudo verificar que coincide con la jerarquía inferida, ya que la cortante basal de sistema MDL es mayor que la del sistema de Mampostería confinada y finalmente al comparar las estructuras altas con la tesis de Mestanza Jaque, Jhordy Frantz (2019) se pudo verificar que no coincide con la jerarquía inferida, ya que la cortante basal de sistema dual (883.132) es mayor que la del sistema de Aporticados (772.741). En general, se puede decir que la cortante basal, aumenta según el número de pisos [11]. Por lo que, se sabe que las estructuras más rígidas suelen tener mayor cortante basal, por lo que se desaconseja utilizar el sistema de Mampostería para edificaciones altas, sobre todo teniendo en cuenta que el Perú tiende utilizar unidades artesanales.

El parámetro de las **máximas derivas** de las tesis encontradas, las cuales reportan el desempeño de una estructura ante una determinada acción sísmica, definido por un

desplazamiento lateral máximo o una deriva de piso máxima [12], la cual debe estar dentro de los límites normados, por lo que, no solo es importante para saber el comportamiento que tendrá una edificación frente a un sismo, sino que si no se cumplen los estándares de la norma puede afectar a la estructura a plantas catastróficas. Al comparar las estructuras bajas con el antecedente de Ladera Romero, Jimy Percy (2019) se pudo verificar que coincide con la jerarquía inferida, ya que la máxima deriva de sistema Aporticados (0.0069) es mayor que la del sistema de Mampostería confinada (0.0018) y que el sistema que tiene menor deriva es el sistema MDL; esto se debe a la rigidez de cada sistema, ya que el sistema de MDL es más rígido, por lo que eso se refleja en los resultados, siendo así, que las máximas derivas tienen una relación directa con la rigidez de la estructura; este dato es importante, para poder recomendar un sistema a partir del tipo de suelo que presenta la zona. Mientras que, al comparar las edificaciones medias con la tesis de Deyra Escobar, Miguel Steve y Otero Farfán, Marcio Adrián de Jesús (2020) se pudo comprobar que coincide con la jerarquía inferida, ya que la máxima deriva del sistema MDL (0.000208) es menor que la del sistema de Mampostería confinada (0.001103) y puede verse afectada por el diseño y distribución de los elementos estructurales. Finalmente, al comparar las estructuras altas con la tesis de Mestanza Jaque, Jhordy Frantz (2019) se pudo verificar que coincide con la jerarquía inferida, ya que la cortante basal de sistema dual (X-X: 0.00195 y Y-Y: 0.00371) es menor que la del sistema de Aporticados (X-X: 0.037036 y Y-Y: 0.0289836), por lo que, recomendamos el dual más que la Mampostería, debido a que a estas alturas el sistema dual es un sistema más seguro, teniendo en cuenta el contexto peruano.

Recordando que la **fuerza cortante dinámica** son los esfuerzos producidos por movimientos en los elementos estructurales, que se generan por cargas externas como las sísmicas. Por lo que, este parámetro es importante porque podemos saber a qué esfuerzos se encuentra sometida la estructura y cómo puede afectar a los elementos estructurales si no es tomada en cuenta. Si corroboramos las jerarquías sugeridas con el antecedente de Deyra Escobar, Miguel Steve y Otero Farfán, Marcio Adrián de Jesús (2020) para estructuras medias, se comprobó que coincide con la jerarquía inferida, y a que la máxima deriva del sistema MDL (156.00 tn) es mayor que la del sistema de Mampostería confinada (79.00 tn), sin embargo, es importante destacar que esta jerarquía sigue siendo variable, ya que puede verse afectado por muchos factores como el suelo, la zona y el cómo fueron diseñados los elementos estructurales. Para las estructuras altas con la tesis de Mestanza Jaque, Jhordy Frantz (2019) no se pudo verificar debido a la falta de este parámetro; sin embargo, en los resultados se observó que el sistema que inferimos tiene mayor fuerza cortante dinámica es el sistema de Mampostería, luego el Aporticados o MDL y finalmente dual; aunque realmente esta última jerarquía no segura entre Aporticados y MDL; sin embargo, se dio prioridad al sistema MDL, ya que analizando

desde las edificaciones medias, no se está recomendando el sistema de pórticos.

El *desplazamiento máximo de entrepiso*, es el parámetro más importante para comparar el comportamiento de distintos sistemas estructurales y así determinar el grado de daño que puede presentarse [13]. Dado que, solo las edificaciones medias se encuentran para este parámetro, se observó que tiene menor desplazamiento máximo de entrepiso es el sistema de MDL, Mampostería y Aperticados en orden de jerarquía, esto se debe a que mayor rigidez de la estructura, menor será el desplazamiento.

IV. CONCLUSIONES

Esta investigación se limita a un análisis documental, por lo que dependemos de los valores que nos alcanza el grupo de estudio; donde las muestras no nos presentan el esfuerzo máximo ante el sismo, el cual, vibrará según una combinación de diversos modos de vibración, donde cada modo posee una deformada característica y una frecuencia de vibración distinta. Así mismo, la falta de fuentes para algunas alturas, se debe a que se dio preferencia a estudios regidos bajo la normativa peruana y esto no permitió enlazar la información de manera sencilla. Añadido a esto, no todos los antecedentes cuentan con todos los parámetros analizados, por lo que concluimos que, si bien la jerarquía establecida no es exacta para algunos parámetros, pudimos determinar una jerarquía aproximada a la realidad, y así determinar las características del mejor sistema.

Como implicancia, pudimos responder que el Sistema Muros de Ductilidad Limitada (MDL) resulta altamente efectivo en perfiles de suelo S3 y S4 en cualquiera de las zonas sísmicas, debido a que evita el fenómeno de resonancia pues posee alta resistencia, sin embargo solo se lo aconseja para edificaciones que varíen entre 3 a 7 pisos, ya que este sistema solo puede ser usado hasta 8 plantas como máximo y comparado con edificaciones bajas hechas de Mampostería, estas últimas son más económicas y poseen un comportamiento similar a esta altura, sin embargo de ser mayor pueden resultar riesgosas; por otro lado aconsejamos el uso del sistema Aperticados en perfiles de suelo S1 y S2 en cualquiera de las zonas sísmicas, debido a que evita el fenómeno de resonancia pues posee alta flexibilidad, sin embargo solo lo recomendamos para edificaciones bajas y medias que varíen entre 2 a 5 pisos, aunque en edificaciones bajas puede resultar más costoso que el sistema de Mampostería y para las edificaciones medias puede tomarse también el sistema dual dependiendo de las condiciones; por parte del sistema de Mampostería como ya vimos se puede usar en los distintos perfiles de suelos, además es el más económico en edificaciones bajas, para las cuales se aconseja su uso exclusivo, aunque sugerimos limitar su uso hasta 2 pisos si se encuentra en la zona 3 o 4 y finalmente sobre el sistema Dual podemos usarlo preferentemente en edificaciones medias o altas, sobre todo la segunda dada su versatilidad entre resistencia y flexión que se adapta a cualquier tipo de suelo y zona, aunque suele ser el más costoso.

De todos los parámetros analizados y recopilados se pudo inferir cual es el sistema más recomendable para las diversas alturas de las edificaciones multifamiliares consideradas en este estudio, habiendo caracterizado sus parámetros sísmicos y su Impacto en el costo, obteniendo así que el sistema más recomendado para edificaciones bajas (2 -3 plantas) es el sistema de Mampostería, por tener una mejor respuesta estructural y ser la edificación menos costosa; mientras que, para las edificaciones medias (5 plantas) se recomendó MDL, seguido del Aperticados, exceptuando al sistema dual, debido a que en éste, los muros estructurales (placas) cargan entre el 20% y 70 % de la cortante basal, y esto hace que sea poco factible para estructuras de esta altura ya que eleva el costo de construcción. Finalmente, para las edificaciones de plantas altas (7 - 8 y 10 pisos) se recomendó el sistema dual, por lo que tiene una mejor respuesta estructural debido a que a mayor altura requiere mayor rigidez y estabilidad estructural.

REFERENCIAS

- [1] M. d. I. Á. Arana Díaz y Y. A. Samané Murrugarra, 2022. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/11537/29828>. [Último acceso: 26 Enero 2022].
- [2] H. Tavera, 22 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/127394-cinturon-de-fuego-del-pacifico-activacion-en-cadena/>. [Último acceso: 2021].
- [3] G. Delgado Pulcinelli y S. K. Rubiños Bartens, «Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/635417>. [Último acceso: 2021].
- [4] J. E. Laucata Luna, 21 11 2013. [En línea]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4967>
- [5] Instituto Nacional de Defensa Civil, 2009. [En línea]. Available: [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/71A58D4A0EB5113B05257E7E0061BAB8/\\$FILE/1_pdfsam_5_desatres.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/71A58D4A0EB5113B05257E7E0061BAB8/$FILE/1_pdfsam_5_desatres.pdf). [Último acceso: 2021].
- [6] M. S. Deyra Escobar y M. A. d. J. Otero Farfán, 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56219>. [Último acceso: 2021].
- [7] J. F. Mestanza Jaque, 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35351>. [Último acceso: 2021].
- [8] J. P. Ladera Romero, «Análisis y diseño estructural comparativo entre el sistema aperticado y albañilería confinada de una vivienda multifamiliar en el barrio de San Carlos, distrito Huancayo 2017,» 2019.
- [9] M. Domínguez Caicedo, «Períodos de vibración de las edificaciones,» *Revista Arquitectura e Ingeniería*, vol. 8, n°2, 2014.

- [10] C. A. Saavedra, 2016. [En línea]. Available: <https://saavedraonline.wordpress.com/2016/10/29/verificacion-del-cortante-basal-segun-covenin-1756-2001/>. [Último acceso: 2021].
- [11] L. W. Morales, K. Manosalvas Chávez y J. Tarapúes Marquínez, «Comparación de respuestas estructurales entre los sistemas de muros confinados (m2) y aperturado, implementando interacción suelo-estructura,» *Centro de Investigaciones UTMACH*, vol. 2, n° 1, Julio 2018.
- [12] R. Aguiar y A. González, «Evaluación rápida de la deriva máxima de piso en edificios sin muros de corte,» *IMME*, vol. 44, n° 2, Julio 2006.
- [13] I. Hernández, «Capítulo V,» [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hernandez_1_h/capitulo5.pdf.