

Influence of structural walls on low and medium height buildings made of reinforced concrete with elastomeric isolator systems.

Influencia de muros estructurales en edificios de baja y mediana altura de hormigón armado con sistemas de aisladores elastoméricos.

Autores:

Guerra-Valladares, Marcelo David
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Sismorresistentes
Cuenca – Ecuador



marcelo.guerra.88@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-4119-4959>

Guerra-Avenidaño, Oswaldo Marcelo
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Sismorresistentes
Cuenca – Ecuador



oswaldo.guerra@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-5154-054X>

Citación/como citar este artículo: Guerra-Valladares, Marcelo David. Y Guerra-Avenidaño, Oswaldo Marcelo. (2023).
Influencia de muros estructurales en edificios de baja y mediana altura de hormigón armado con sistemas de aisladores
elastoméricos
MQRInvestigar, 7(2), 1062-1085

<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.2.2023.1062-1085>

Fechas de recepción: 19-ABR-2023 aceptación: 19-MAY-2023 publicación: 15-JUN-2023



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

Los avances en el sector de la construcción del país, para los diseñadores, están orientados a mejorar la seguridad de las edificaciones. Sabiendo que la región andina ecuatoriana se encuentra en una zona de alta peligrosidad sísmica, los ingenieros civiles deben asegurarse de que las estructuras cumplan con las normas nacionales o internacionales de disipación de energía.

En los últimos años, la ingeniería estructural ha desarrollado sistemas para proteger edificios de eventos sísmicos destructivos y de alta intensidad, eventos naturales que causan la mayor pérdida económica y pérdida de vidas humanas del mundo.

Debido a los antecedentes antepuestos, la ingeniería ecuatoriana se ve desafiada a iniciar la investigación e implementación de estos sistemas, tales como: Sistemas de aislamiento de base elastoméricos, introduciendo elementos aislantes elastoméricos adicionales debidamente ubicados en la parte inferior de la edificación, cuyo movimiento absorbe parte de la energía liberada por los eventos sísmicos.

La aplicación de sistemas de aisladores de base elastoméricos es un método de protección sísmica que ha cobrado cada vez más importancia en los últimos años debido a su eficacia frente a sismos de moderada o alta magnitud.

Como objetivo de investigación, se aplica sistemas de aisladores de base elastoméricos a edificios de baja y mediana altura con 2 sistemas estructurales diferentes para lograr eficiencia y, si es posible, la aplicabilidad de los sistemas de aisladores a varias configuraciones estructurales.

PALABRAS CLAVE: Pórtico Especial a Momento (Special Moment Frame – SMF); Sistema DUAL; Aislador; Sistema de aislamiento de base elastoméricos; Registros Sísmicos.

Abstract

Advances in the country's construction sector, for designers, are aimed at improving the safety of buildings. Knowing that the Ecuadorian Andean region is in an area of high seismic danger, civil engineers must ensure that the structures comply with national or international energy dissipation standards.

In recent years, structural engineering has developed systems to protect buildings from high-intensity and destructive seismic events, natural events that cause the greatest economic loss and loss of human life in the world.

Due to the previous precedents, Ecuadorian engineering is challenged to start the investigation and implementation of these systems, such as: Elastomeric base isolation systems, introducing additional elastomeric isolating elements duly located in the lower part of the building, whose movement absorbs part of the energy released by seismic events.

The application of elastomeric base isolator systems is a seismic protection method that has become increasingly important in recent years due to its effectiveness against earthquakes of moderate or high magnitude.

As a research objective, elastomeric base isolator systems are applied to low and medium-rise buildings with 2 different structural systems to achieve efficiency and, if possible, the applicability of the insulator systems to various structural configurations.

KEY WORDS: Special Moment Frame (SMF); DUAL system; Isolator; Elastomeric base insulation system; Seismic Records.



Introducción

Históricamente, la ocurrencia de desastres relacionados con eventos sísmicos ha causado enormes pérdidas de vidas y pérdidas económicas para los seres humanos. De los 10 eventos más letales de los últimos 25 años, seis fueron terremotos (y los tsunamis como consecuencia del evento sísmico). En otras palabras, de entre 1.022.200 personas muertas en estos diez desastres, los eventos sísmicos mataron a 617.200 personas y causó una pérdida de 497 millones de dólares estadounidenses, lo que representa el 62% de la pérdida total de 771 millones de dólares estadounidenses por los 10 desastres indicados. Estas enormes pérdidas de vidas y recursos económicos pueden tener consecuencias devastadoras para las sociedades.

Los sistemas ampliamente adoptados utilizan aisladores elastoméricos para aislar un edificio o estructura de los componentes horizontales del movimiento del suelo mediante la inserción de elementos estructurales de baja rigidez horizontal entre la estructura y los cimientos. Esta capa proporciona a la estructura una frecuencia fundamental muy por debajo de sus frecuencias fundamentales fijas y dominantes del movimiento del suelo. Los primeros modos dinámicos de la estructura aislada implican únicamente deformaciones en el sistema aislado, y la superestructura es rígida a todos los efectos. Los modos superiores, que producen deformaciones en la estructura, son perpendiculares al primer modo y por tanto al movimiento del suelo.

El aislamiento de la base se considera ampliamente como una técnica eficiente para mejorar el desempeño sísmico de los edificios, porque las derivas de piso, las fuerzas de corte y las aceleraciones del piso de un edificio aislado en la base se reducen en comparación con las de un edificio de base fija convencional

El sistema de aislamiento no elimina la energía del sismo, sino que la deriva a través de la dinámica del sistema utilizado. Este tipo de sistema de aislamiento funciona cuando el sistema es lineal e incluso cuando no está amortiguado, sin embargo, un nivel de amortiguamiento es favorable para suprimir cualquier posible efecto de resonancia en la frecuencia del sistema de aislamiento.

Incluir muros estructurales en edificios de baja o mediana altura debe ser analizada, puesto que puede provocar una pérdida de eficiencia del sistema de aislación o daños localizados en aisladores producidos por las grandes cargas que pueden soportar el sistema de aislación.

Los objetivos específicos del presente estudio son (i) analizar los resultados que se obtiene del análisis estructural realizados de modelos en base fija y con sistema de aislamiento y (ii) evaluar la eficiencia del sistema de aislamiento aplicado a los diferentes modelos en estudio. En particular, el análisis está enfocado en edificios de baja y mediana altura conformados por pórticos especiales a momento (SMF) y sistema DUAL. Las estructuras fueron analizadas

siguiendo lo especificado en las normativas NEC2015 y ASCE7-16. Para la modelación completa de las estructuras y del sistema de aislación se ha considerado el programa ETABS 2016.

Las estructuras con sistemas de aislamiento de base consideradas en este estudio tienen las siguientes limitaciones de diseño:

- 1) Se considera irregularidad en planta, con la finalidad de analizar la eficiencia del sistema de aislación en el control de la respuesta estructural.
- 2) Se determina el uso de diferentes alturas, con el objetivo de analizar la respuesta del sistema de aislación; y analizar las ventajas y desventajas que puede presentarse.

Para este estudio se considera 6 modelos. Todos los modelos analizados son similares en estructuración y en secciones utilizadas, la diferencia radica en la implementación de muros estructurales como parte del sistema resistente a cargas sísmica.

Figura 1
Planta general de modelo SMF

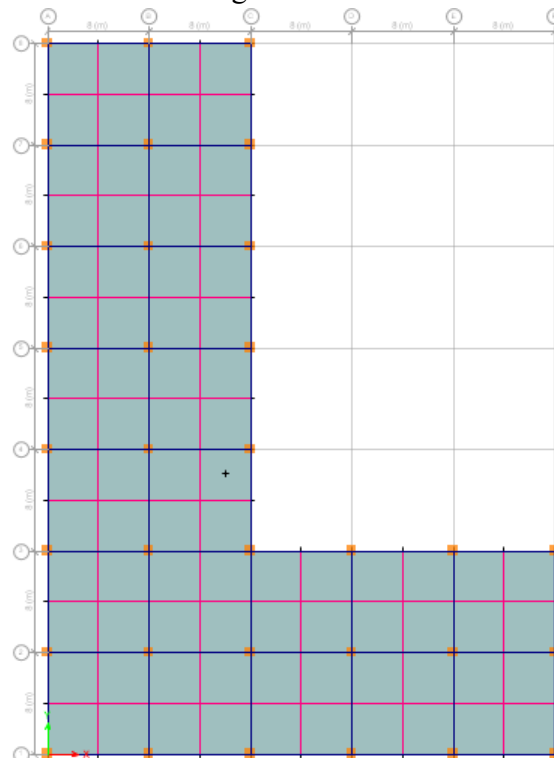
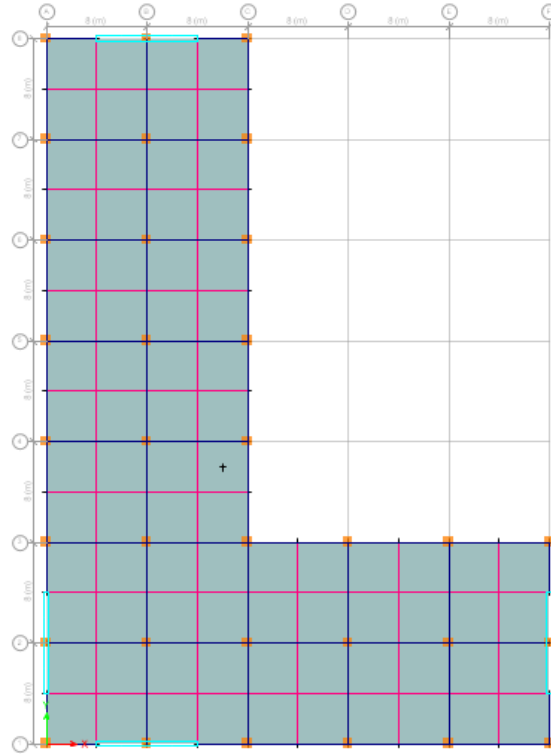


Figura 2
Planta general de modelo DUAL



Material y Métodos

Implementación de sistemas de aislamiento de base elastoméricos.

La implementación de aislamiento de base a la estructura comienza por la determinación del periodo de vibración objetivo al cual se debe llegar con el aislamiento. La normativa ASCE7-16 especifica que el período efectivo de la estructura con sistema de aislamiento “ T_M ” es mayor que el producto de tres y el período elástico de base fija o empotrada de la estructura sobre el sistema de aislamiento, obtenido mediante un análisis modal adecuado. (The American Society of Civil Engineers 2017)

Para determinar el periodo de vibración de la estructura con sistema de aislamiento se desarrolla modelos matemáticos con empotramientos en la base del edificio. Así mismo, para la elección del periodo de vibración de la estructura con sistema de aislamiento se debe considerar la reducción de las acciones producidas por la acción sísmica y esto se logra teniendo periodos de vibración altos que se encuentran lo más alejados de la zona de mayores aceleraciones que presenta el espectro de aceleraciones.

En este punto, se debe tomar en cuenta algunas consideraciones:

- En edificios de baja altura no es posible aplicar directamente lo especificado por la norma ASCE7-16, puesto que las edificaciones de baja altura presentan periodos de vibración muy bajos, lo que conlleva a que el sistema de aislación sea muy rígido perdiendo su eficacia. En estos casos, se debe asignar un periodo de vibración que garantice que exista flexibilidad suficiente en el sistema de aislación.
- En edificios de gran altura se vuelve un reto colocar sistemas de aislamiento de base, puesto que las estructuras de gran altura ya son flexibles por lo que alcanzar un periodo objetivo con un sistema de aislación se vuelve casi imposible, ya que es necesario un periodo de vibración muy alto. Este tipo de estructuras deben ser rigidizadas en primer lugar si se busca utilizar un sistema de aislamiento de base.

Determinado el periodo objetivo que se desea alcanzar, se calcula la rigidez efectiva aproximada que tiene el sistema de aislamiento para alcanzar ese periodo definido, así mismo, se define qué porcentaje de amortiguamiento efectivo va a proveer el sistema de aislación a la respuesta del sistema estructural. En este punto, se determina la cantidad de aisladores que a utilizar dentro del sistema de aislamiento. Se recomienda utilizar un aislador bajo cada elemento estructural vertical.

Se determina la carga axial que resiste cada aislador, para lo se realiza modelos estructurales con una rigidez individual aproximada. Esta rigidez individual está directamente relacionada con la rigidez efectiva aproximada del sistema de aislamiento. Para la determinar las cargas axiales sobre los aisladores, se debe considerar la acción de la carga vertical y la carga sísmica. Para un diseño inicial, se considera un análisis modal espectral considerando un espectro de aceleraciones reducido. Esto se considera puesto que, con la inclusión del sistema de aislación, se tiene un mayor amortiguamiento efectivo para las respuestas estructurales que se va a presentar en los periodos altos de vibración. Para realizar esta reducción, se considera la tabla especificada en la normativa ASCE7-16 que está en función del amortiguamiento efectivo que tiene el sistema de aislación.

Figura 3
 Tabla 17.5.1 (The American Society of Civil Engineers 2017)

Table 17.5-1 Damping Factor, B_M

Effective Damping, β_M (percentage of critical) ^{a,b}	B_M Factor
≤2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥50	2.0

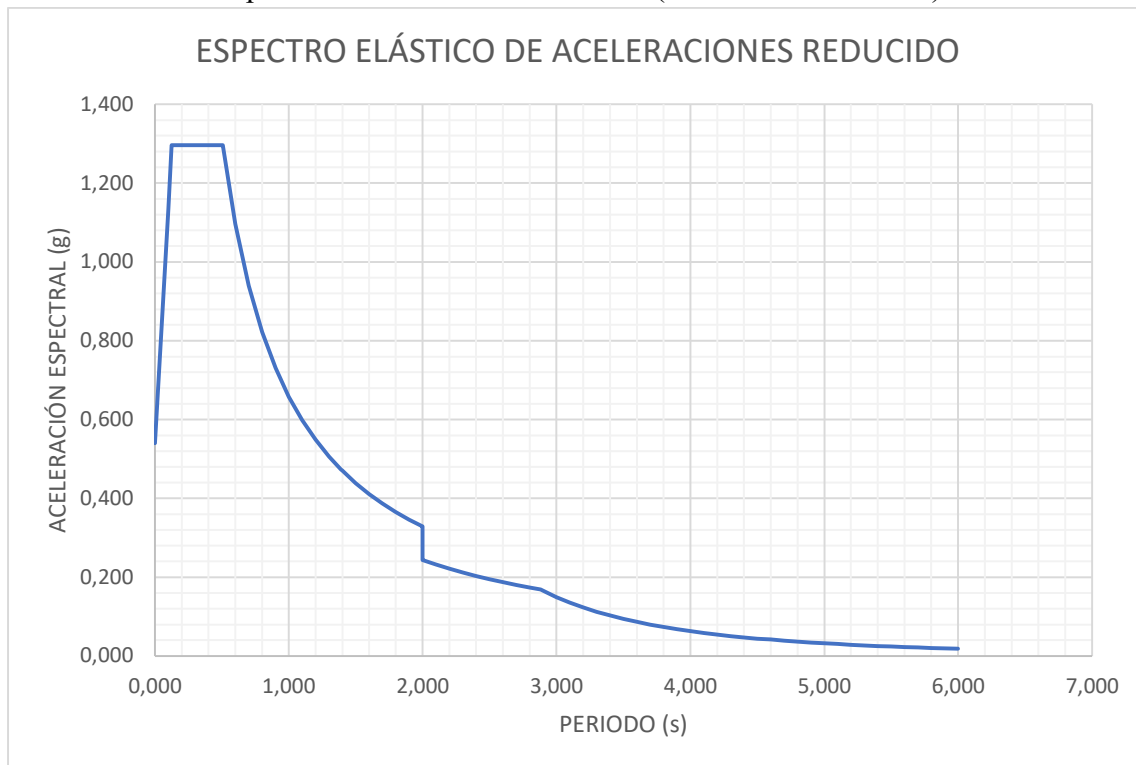
^aThe damping factor shall be based on the effective damping of the isolation system determined in accordance with the requirements of Section 17.2.8.6.

^bThe damping factor shall be based on linear interpolation for effective damping values other than those given.

Para la definición del espectro de respuesta se considera la propuesta preliminar realizada por el comité de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC2022. Esto se debe a que el espectro de respuesta propuesto por la normativa NEC2015 no tiene la definición de una segunda curva donde se tiene una mayor reducción de las ordenadas espectrales para periodos largos.

Figura 4

Espectro de Aceleración Reducido (NEC2022-Preliminar)



Con esta información se diseñan los aisladores que sean necesarios para conformar el sistema de aislación. Procurar tener no más de 3 tipos de aisladores. Esto se debe a que la inclusión de aislamiento de base representa mayores costos en la estructura (entre 20 a 40 dólares por m² adicional al costo sin aislación) por lo que se debe optimizar en lo posible la variedad de aisladores que se utiliza. Para elegir los tipos de aisladores a utilizar se puede considerar dos de los tipos más comunes:

- Aisladores de goma natural: Tipo de aislador de bajo amortiguamiento y muy flexible.
- Aisladores de goma natural con núcleo de plomo: Aisladores de alto amortiguamiento.

Diseñados los aisladores a utilizar, se procede a distribuirlos en planta. Para que el sistema de aislación no genere ningún efecto de torsión en la interfaz de aislación y en la superestructura, se procura eliminar la excentricidad que pueda existir entre el centro de masas y el centro de rigideces. Se recomienda que la relación entre la excentricidad y la longitud completa de la planta en las dos direcciones principales de análisis no supere el 1%.

Definida la distribución adecuada de los aisladores en la planta del edificio, se modela cada tipo de aislador en el programa ETABS 2016. Se asigna características de rigidez, rigidez efectiva y fuerza de fluencia del aislador dependiendo al tipo de aislador que es definido. En la tabla se muestra un resumen de los parámetros más importantes de todos los aisladores utilizados en este estudio:

Tabla 1
Características Principales de Sistema de Aislación – SMF

3 pisos - SMF	
Periodo Efectivo	$T = 2.97 \text{ seg}$
Amortiguamiento Efectivo	$\beta = 14.80\%$
Desplazamiento Máximo	$D_M = 40.80 \text{ cm}$
Desplazamiento Total Máximo	$D_{TM} = 44.90 \text{ cm}$
6 pisos - SMF	
Periodo Efectivo	$T = 3.47 \text{ seg}$
Amortiguamiento Efectivo	$\beta = 14.50\%$
Desplazamiento Máximo	$D_M = 40.80 \text{ cm}$
Desplazamiento Total Máximo	$D_{TM} = 44.90 \text{ cm}$
9 pisos - SMF	
Periodo Efectivo	$T = 4.00 \text{ seg}$
Amortiguamiento Efectivo	$\beta = 14.50 \%$
Desplazamiento Máximo	$D_M = 40.80 \text{ cm}$
Desplazamiento Total Máximo	$D_{TM} = 44.90 \text{ cm}$

Tabla 2
Características Principales de Sistema de Aislación – DUAL

3 pisos - DUAL	
Periodo Efectivo	$T = 2.61 \text{ seg}$
Amortiguamiento Efectivo	$\beta = 14.88\%$
Desplazamiento Máximo	$D_M = 40.80 \text{ cm}$
Desplazamiento Total Máximo	$D_{TM} = 44.90 \text{ cm}$
6 pisos - DUAL	
Periodo Efectivo	$T = 3.20 \text{ seg}$
Amortiguamiento Efectivo	$\beta = 14.56\%$
Desplazamiento Máximo	$D_M = 40.80 \text{ cm}$
Desplazamiento Total Máximo	$D_{TM} = 44.90 \text{ cm}$

9 pisos - DUAL

Periodo Efectivo	$T = 3.52 \text{ seg}$
Amortiguamiento Efectivo	$\beta = 14.50\%$
Desplazamiento Máximo	$D_M = 40.80 \text{ cm}$
Desplazamiento Total Máximo	$D_{TM} = 44.90 \text{ cm}$

Para comprobar el diseño y revisar las acciones que soportan los aisladores, se realiza un análisis no lineal Tiempo – Historia, para lo cual se necesita de registros sísmicos congruentes a la zona de análisis de la estructura. La norma ASCE7-16 recomienda usar como mínimo 3 pares de registros para el análisis e idealmente se recomienda el uso de 7 pares de registros. (The American Society of Civil Engineers 2017) Estos acelerogramas son escalados con el espectro de respuesta incluido el porcentaje de amortiguamiento efectivo que tiene el sistema de aislación.

Figura 5
Modelo 6 Pisos con sistema de aislamiento de base – SMF

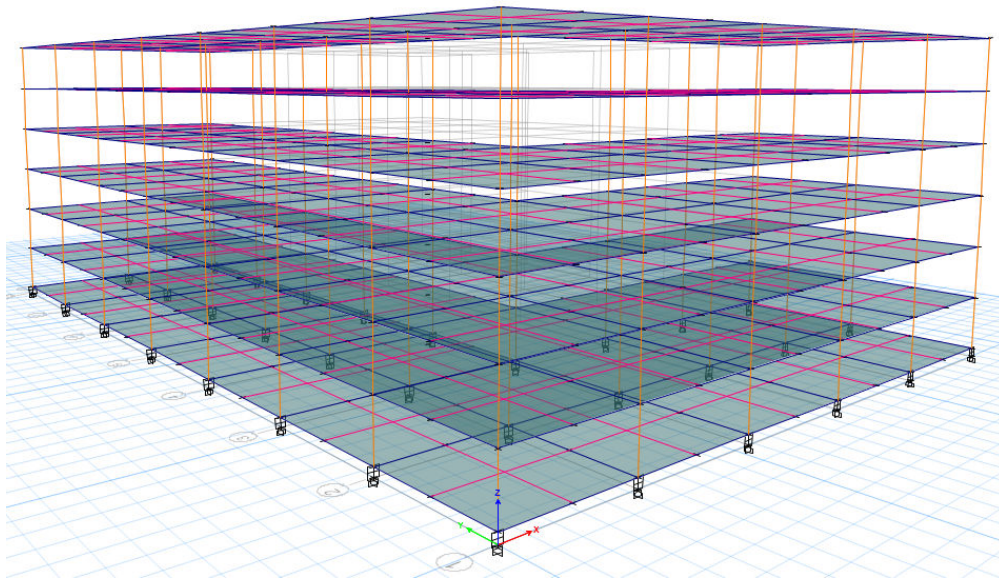
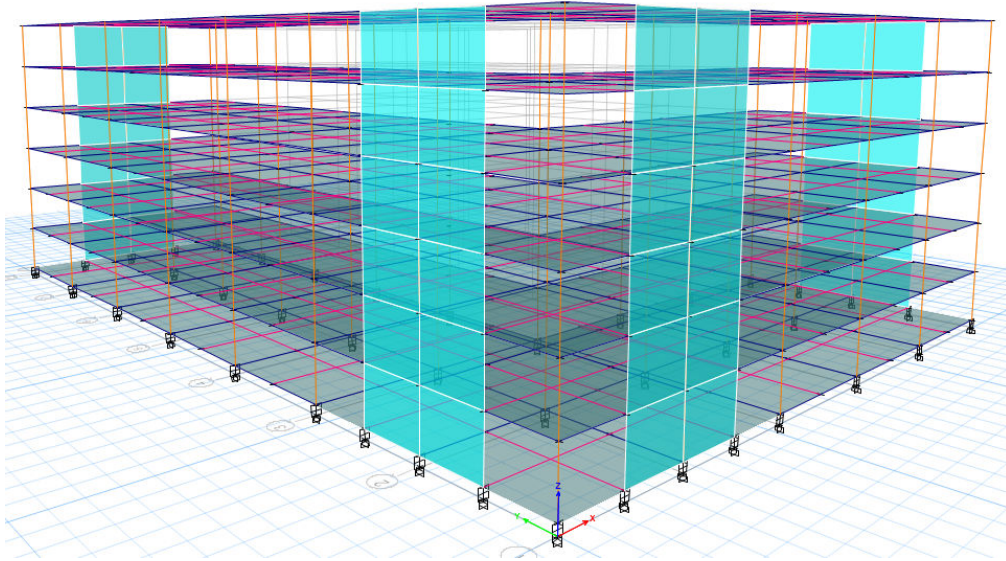


Figura 6
Modelo 6 Pisos con sistema de aislamiento de base – DUAL



Análisis de resultados

En esta sección, se discute la respuesta de los modelos de base aislada en cada configuración. A modo de comparación, se presenta la respuesta obtenida entre los dos tipos de sistemas estructurales. El primer parámetro que se valida es el control de los desplazamientos que se han producido en los aisladores. La normativa ASCE7-16 especifica que, si se ha considerado 7 pares de registros, el desplazamiento máximo en los aisladores puede ser determinado como el promedio de los máximos desplazamientos que se ha producido en todos los aisladores considerando todos los registros. Los desplazamientos en los aisladores han sido determinados para cada uno de los modelos analizados en este estudio. La tabla 3 presenta los resultados obtenidos para los desplazamientos de los aisladores para cada uno de los modelos analizados:

Tabla 3
Desplazamientos máximos

Modelo	Desplazamiento
3 pisos – SMF	$D_{TM} = 48.87 \text{ cm}$
6 pisos – SMF	$D_{TM} = 45.52 \text{ cm}$
9 pisos – SMF	$D_{TM} = 41.88 \text{ cm}$
3 pisos – DUAL	$D_{TM} = 50.66 \text{ cm}$
6 pisos – DUAL	$D_{TM} = 42.14 \text{ cm}$
9 pisos – DUAL	$D_{TM} = 44.52 \text{ cm}$

Para obtener estos resultados es necesario obtener los valores máximos en cada aislador para cada registro sísmico. Las siguientes figuras muestran esos resultados para el modelo de 6 pisos - SMF:

Figura 7
Desplazamiento máximo de aisladores 6 Pisos – Registro 1 – SMF

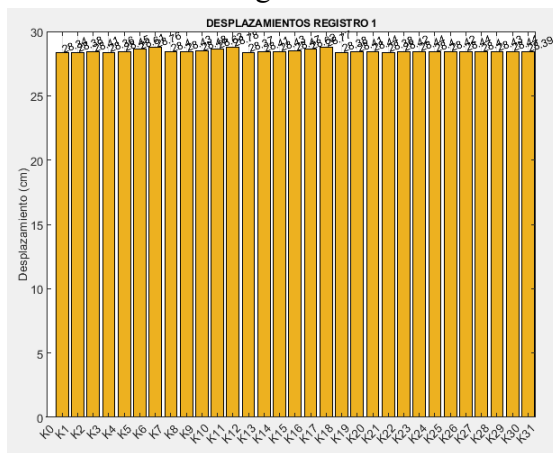


Figura 8
Desplazamiento máximo de aisladores 6 Pisos – Registro 2 – SMF

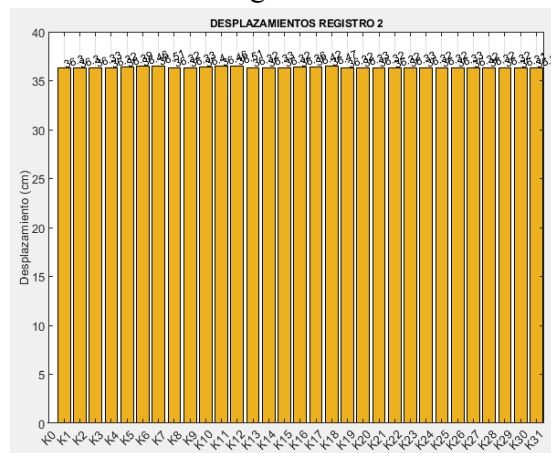


Figura 9

Desplazamiento máximo de aisladores 6
Pisos – Registro 3 – SMF

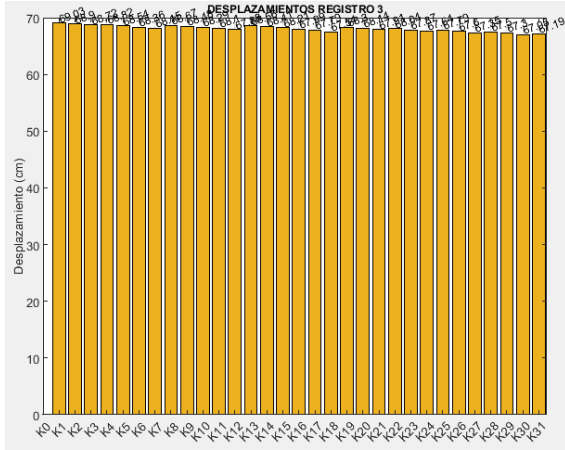


Figura 10

Desplazamiento máximo de aisladores 6
Pisos – Registro 4 – SMF

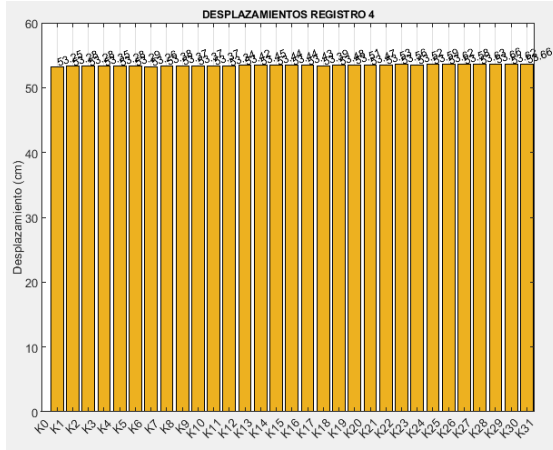


Figura 11

Desplazamiento máximo de aisladores 6
Pisos – Registro 5 – SMF

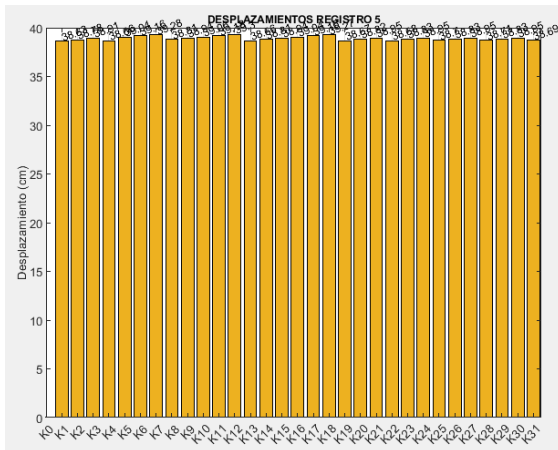


Figura 12

Desplazamiento máximo de aisladores 6
Pisos – Registro 6 – SMF

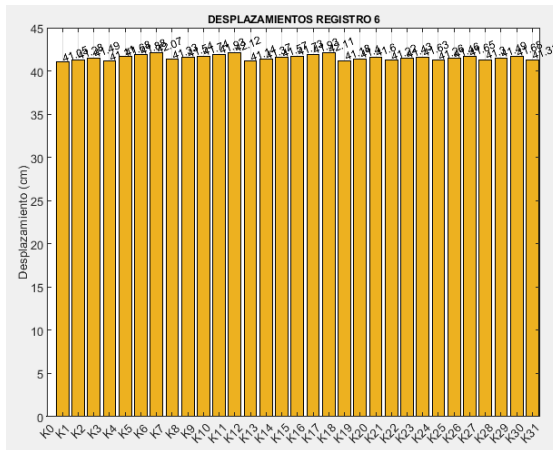
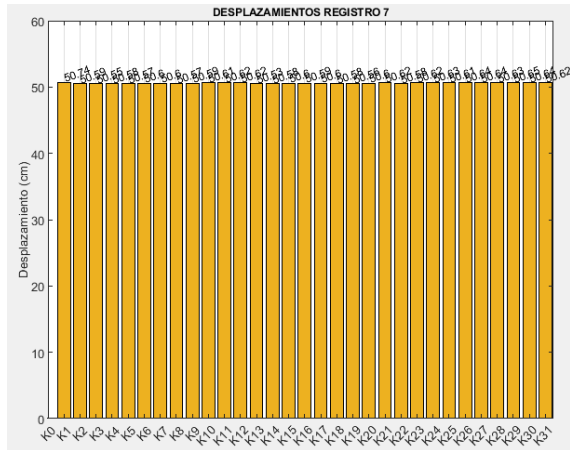
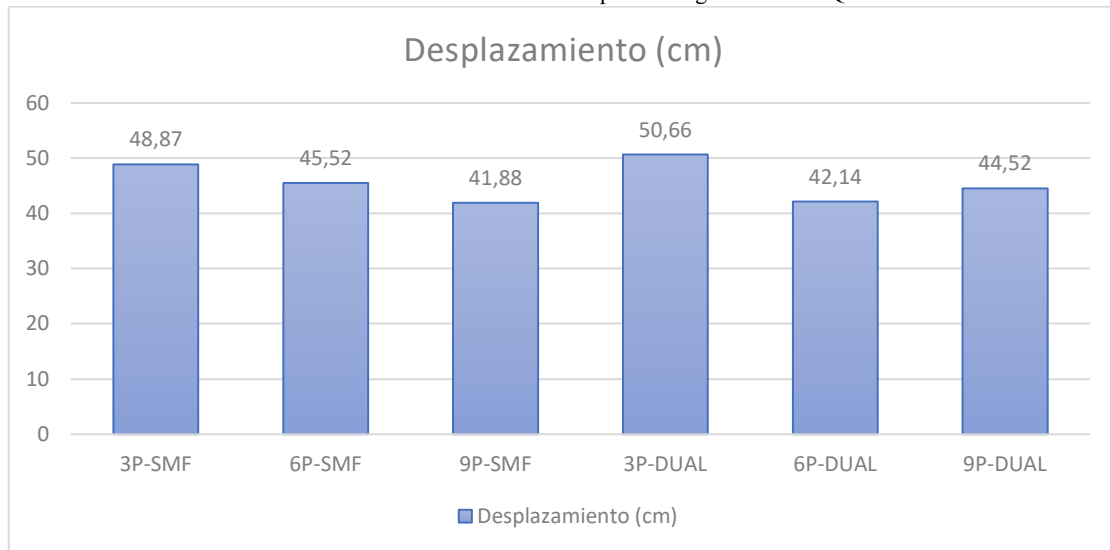


Figura 13
Desplazamiento máximo de aisladores 6
Pisos – Registro 7 – SMF



Los desplazamientos obtenidos muestran una similitud y tienden a estar cerca del desplazamiento total máximo considerado dentro del diseño del sistema de aislación. Existen valores que son muy superiores a los demás y corresponden a los modelos de 3 pisos tanto para SMF como para sistema DUAL. Esto se debe que, al rigidizar más el sistema de aislación, el periodo de vibración disminuye por lo que las acciones producidas por la carga sísmica van a aumentar. Esto es un problema en edificaciones de baja altura ya que, al tener poca rigidez a distribuir, no existe la suficiente flexibilidad del sistema de aislación, aumentando las acciones que llega al sistema de aislación. La Figura 7 presenta una comparación de los desplazamientos, donde se puede observar la variación entre los diferentes modelos analizados:

Figura 14
Comparación de Desplazamientos



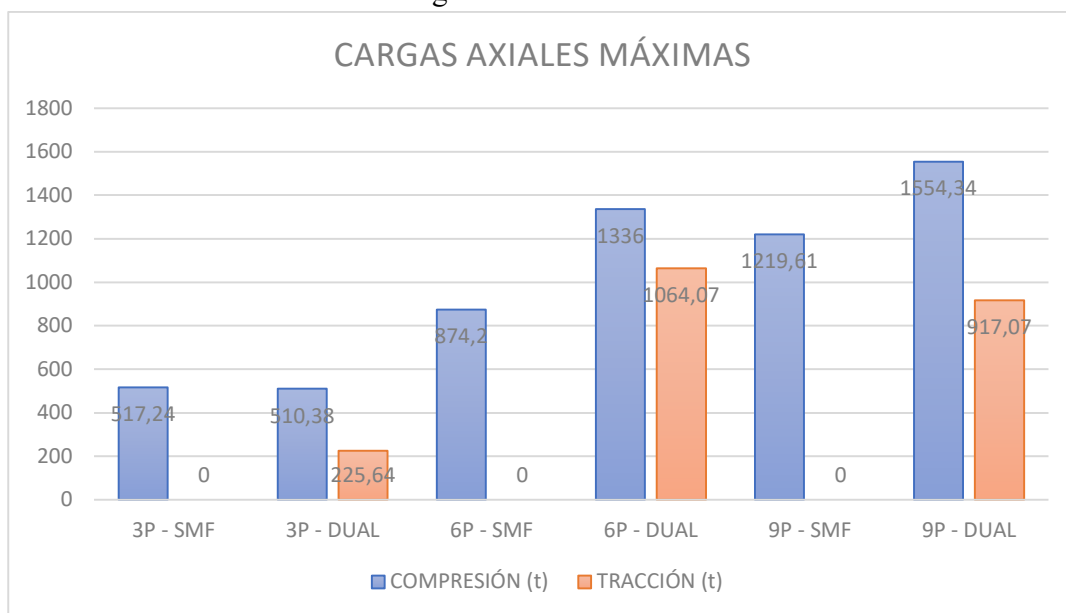
El siguiente parámetro a validar son las cargas axiales generadas en los aisladores por acción de la carga sísmica y la carga vertical. Con estos resultados se acepta el diseño preliminar realizado y se comprueba si no existe cargas de tracción en los aisladores, que es una acción no deseada. En la Tabla 4 se muestra las cargas axiales obtenidas para cada uno de los modelos de este estudio:

Tabla 4
Cargas Axiales Máximas en aisladores

Modelo	Carga axial máxima	Carga axial mínima
3 pisos – SMF	517.24 t (COMPRESIÓN)	29.26 t (COMPRESIÓN)
6 pisos – SMF	874.20 t (COMPRESIÓN)	5.54 t (COMPRESIÓN)
9 pisos – SMF	1219.61 t (COMPRESIÓN)	5.70 t (COMPRESIÓN)
3 pisos – DUAL	510.38 t (COMPRESIÓN)	225.64 t (TRACCIÓN)
6 pisos – DUAL	1336.00 t (COMPRESIÓN)	1064.07 t (TRACCIÓN)
9 pisos – DUAL	1554.34 t (COMPRESIÓN)	917.07 t (TRACCIÓN)

Se puede observar que en los modelos en los cuales se considera SMF como sistema estructural resistente a acción sísmica solo existe compresiones en los aisladores, cumpliendo el diseño que se realiza a estos elementos. Los modelos con sistema estructural DUAL presenta tracciones en los aisladores, específicamente en los aisladores que se encuentran bajo los muros estructurales. Esto se produce ya que estos elementos resisten grandes fuerzas por la acción de la carga sísmica, provocando que se pierda la eficacia de los aisladores. Este es un comportamiento común en estructuras de baja y mediana altura. La Figura 8 presenta una comparación de las cargas axiales, donde se puede observar la variación entre los diferentes modelos analizados:

Figura 15
Cargas Axiales Máximas



En este estudio se considera 2 tipos de aisladores que conforman el sistema de aislamiento de base para los modelos. Se los define correctamente con todos los parámetros diseñados previamente y se obtiene como resultados las curvas de histéresis después de completar el análisis no lineal dinámico. La figura 9 presenta la curva de histéresis de un aislador de goma natural. El comportamiento esperado de este tipo de aislador es elástico. No provee de ninguna cantidad de amortiguamiento al sistema. La figura 10 presenta la curva de histéresis de un aislador de goma natural con núcleo de plomo. La curva de histéresis muestra ciclos de carga y descarga con lo que se puede observar la energía disipada durante la activación

del aislador. Este tipo de aislador provee del amortiguamiento necesario para el sistema de aislamiento de base.

Figura 16
Curva de Histéresis – Aislador de goma natural

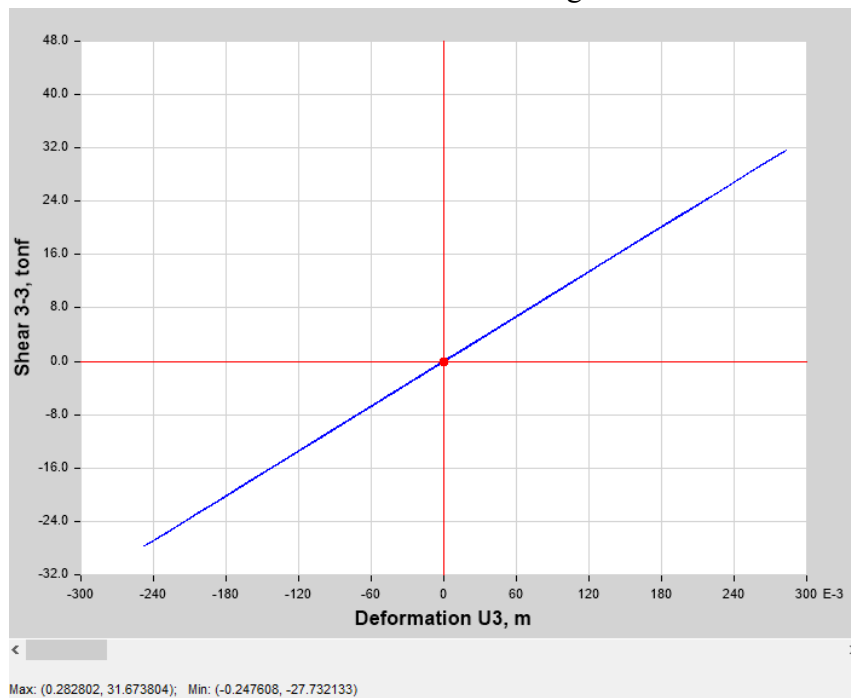
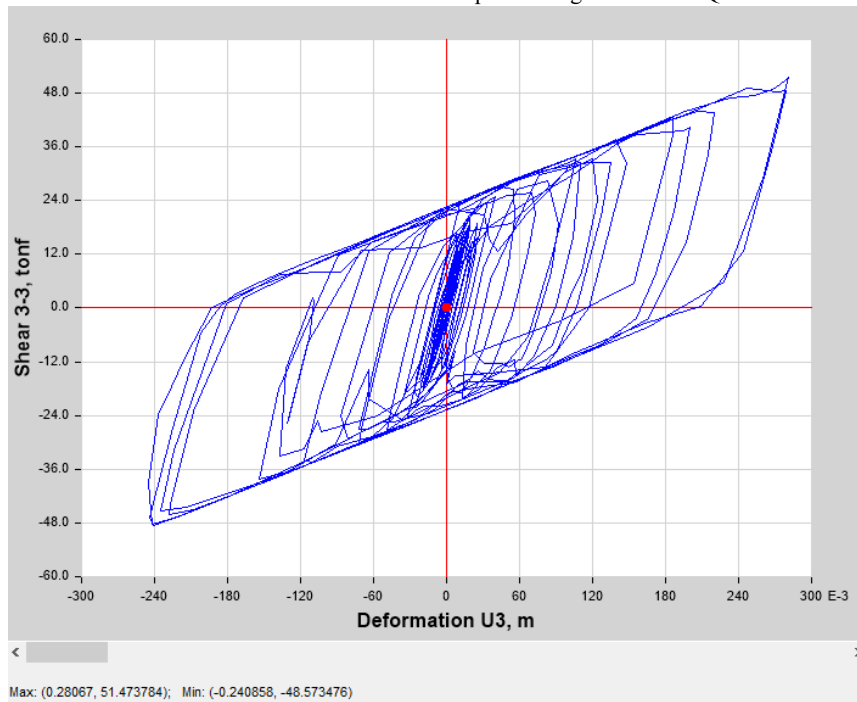


Figura 17
Curva de Histéresis – Aislador de goma natural con núcleo de plomo



Otro resultado que se obtiene de los modelos revisados dentro de este estudio es el cálculo de acciones en los elementos estructurales. Se presenta figuras en donde se muestra el máximo cortante producido por la carga sísmica en un elemento central de cada piso de los modelos. Se puede observar que el cortante a resistir por el elemento es bajo. Esto se debe a la acción del sistema de aislamiento de base, que produce que las ordenadas espectrales sean bajas al tener altos periodos de vibración en los primeros modos, provocando que las acciones que llegan a la superestructura sean bajas. Se puede observar que las acciones que llegan a los modelos con sistema DUAL son más bajas comparados con los modelos con SMF. Esto se debe a la gran rigidez que tiene estos elementos estructurales, ya que son capaces de resistir grandes cantidades de carga que produce la acción sísmica. Las siguientes figuras muestran cómo cambia el cortante para cada uno de los modelos:

Figura 18

Cortante máximo en vigas, 3 Pisos – SMF

Figura 19

Cortante máximo en vigas 3 Pisos - DUAL

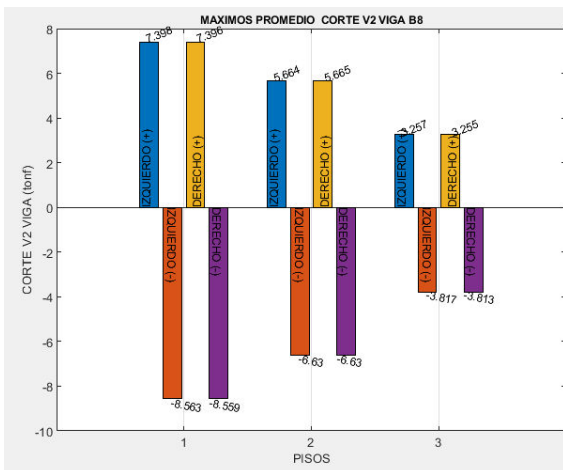


Figura 20

Cortante máximo en vigas, 6 Pisos – SMF

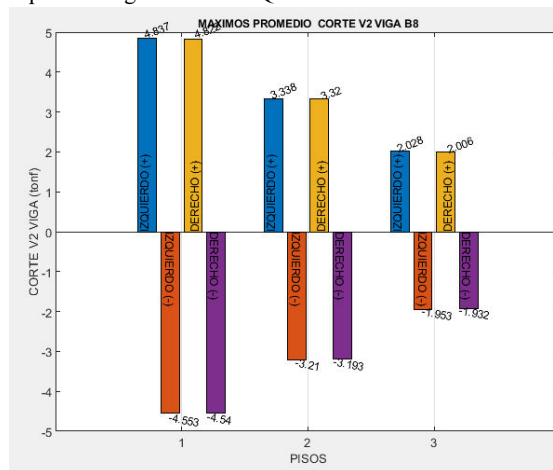


Figura 21

Cortante máximo en vigas 6 Pisos - DUAL

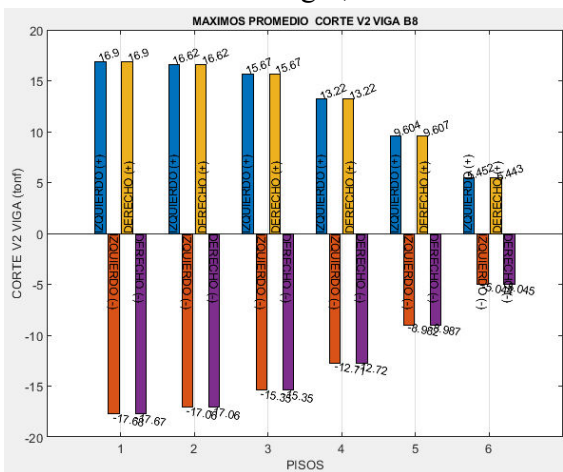


Figura 22

Cortante máximo en vigas, 9 Pisos – SMF

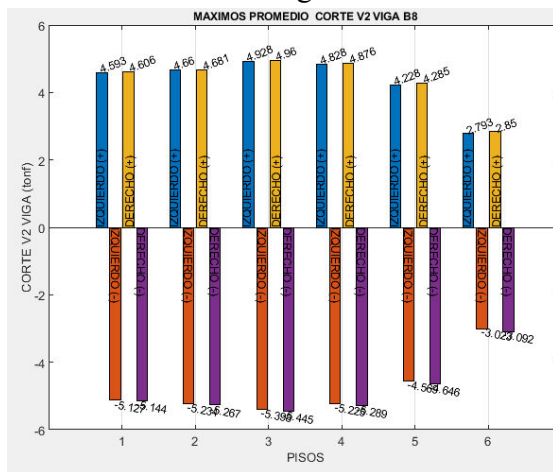
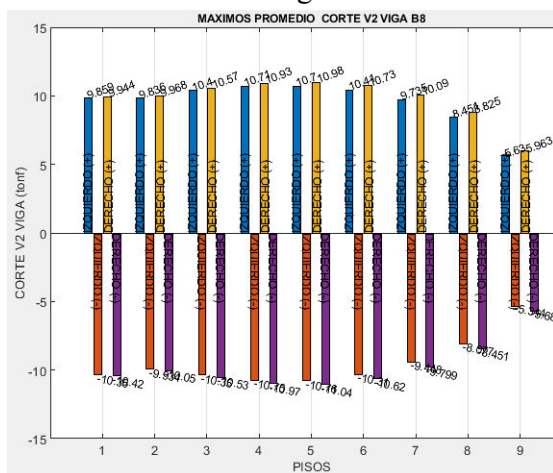
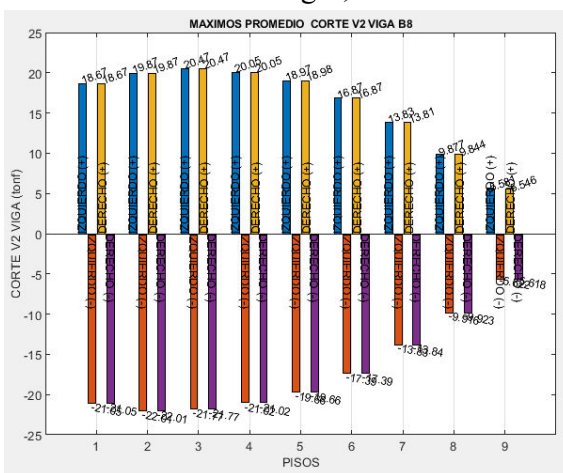


Figura 23

Cortante máximo en vigas 9 Pisos - DUAL



Conclusiones

- Este estudio muestra que los sistemas de aislamiento de base elastoméricos pueden tener efectos significativos en el comportamiento global de la estructura.
- La configuración estructural tiene una gran relevancia dentro de la inclusión de estos sistemas de control, puesto que si no existe un diseño correcto puede afectar directamente a la eficiencia y a los costos de la estructura.
- La altura de las estructuras es un factor importante al momento de considerar incluir sistemas de aislamiento de base. Si se considera estructuras muy bajas, el sistema de aislación se vuelve muy rígido, resultando que: las solicitaciones en los miembros y los desplazamientos laterales disminuyen en pequeño porcentaje, disminuyendo la eficiencia del sistema de aislación.

- Si se considera estructuras muy altas, incluir sistemas de aislamiento de base se vuelve innecesario si no se rigidiza la estructura. El periodo al que se trata de llegar con el sistema de aislación es demasiado alto, con lo que el diseño de los aisladores no cumple con requisitos mínimos de rigidez.
- La inclusión de muros estructurales en edificios de baja o mediana altura no es una opción adecuada para rigidizar las edificaciones si se plantea utilizar sistemas de aislamiento de base elastoméricos. La razón radica en que la base de los muros estructurales soporta grandes cargas y momentos, provocando que ciertos los aisladores se traccionen, conociendo que los aisladores de este tipo no resisten cargas de tracción.
- Con la inclusión de sistemas de aislamiento de base elastoméricos las acciones en la superestructura producidas por las cargas laterales se reducen, logrando controlar de manera eficaz la respuesta estructural de la superestructura.
- Los sistemas de aislamiento de base elastoméricos controlan adecuadamente los problemas de torsión que pueden provocar las irregularidades en la planta de la superestructura, siempre y cuando la disposición de aisladores sea adecuada.
- Los sistemas de aislamiento de base aseguran que la respuesta modal de la estructura sea la esperada para los primeros modos de vibración, sin importar las irregularidades presentes en la estructura.
- La distribución no adecuada de los muros estructurales dentro de la planta puede generar mayores tracciones en el sistema de aislamiento de base. Debe analizarse junto al sistema de aislamiento de base con la finalidad de encontrar la ubicación óptima de estos elementos estructurales para que puedan trabajar en conjunto.

Referencias bibliográficas

- American Concrete Institute. (2019). *Building Code (ACI 318-19) and Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-19)*. American Concrete Institute.
- Cancellara, D., and De Angelis, F. (2012). "Seismic analysis and comparison of different base isolation systems for a multi-storey RC building with irregularities in plan." *Advanced Materials Research*, 594-597, 1788-1799.
- Kelly, J. M. (1997). *Earthquake-Resistant Design with Rubber. Earthquake-Resistant Design with Rubber*.



- Kelly, J. M. (2002). "Seismic isolation systems for developing countries." *Earthquake Spectra*, 18(3), 385–406.
- Kilar, V., and Koren, D. (2009). "Seismic behaviour of asymmetric base isolated structures with various distributions of isolators." *Engineering Structures*, 31(4), 910–921.
- Li, H. N., and Wu, X. X. (2006). "Limitations of height-to-width ratio for base-isolated buildings under earthquake." *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 15(3), 277–287.
- Lu, X., Wang, D., and Wang, S. (2016). "Investigation of the seismic response of high-rise buildings supported on tension-resistant elastomeric isolation bearings." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 45(13), 2207–2228.
- Mazza, F. (2018). "Seismic demand of base-isolated irregular structures subjected to pulse-type earthquakes." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 108, 111–129.
- Mazza, F., and Vulcano, A. (2009). "Nonlinear response of RC framed buildings with isolation and supplemental damping at the base subjected to near-fault earthquakes." *Journal of Earthquake Engineering*, 13(5), 690–715.
- Moon, B. Y., Kang, G. J., Kang, B. S., and Kelly, J. M. (2002). "Design and manufacturing of fiber reinforced elastomeric isolator for seismic isolation." *Journal of Materials Processing Technology*, 145–150.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *NEC-SE-DS Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente. Norma Ecuatoriana de la Construcción.*
- Tajirian, F. F., Kelly, J. M., Aiken, I. D., and Veljovich, W. (1990). "Elastomeric bearings for three-dimensional seismic isolation." *American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP*, 7–13.
- Talbot, J. P. (2016). "Base-isolated buildings: Towards performancebased design." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*.
- The American Society of Civil Engineers. (2017). *ASCE7-16. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.*

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.