

Eficiencia de los aisladores elastoméricos en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado sometidos a registros sísmicos peruanos

Efficiency of elastomeric isolators in reducing seismic acceleration in the base of reinforced concrete buildings subjected to Peruvian seismic records

Recibido: 12 de julio de 2022 | Revisado: 15 de agosto de 2022 | Aceptado: 18 de agosto de 2022

MSC. Ricardo Ramon Oviedo Sarmiento¹
PHD. Genner Alvarito Villarreal Castro²

ABSTRACT

The present work seeks to determine how the efficiency of elastomeric isolators influences the reduction of seismic acceleration in the base of reinforced concrete buildings subjected to Peruvian seismic records. Methodology: Applied type study, based on the ASCE/SEI 7-22 code and on the Technical Standard E.031-19. Results: The following were considered: 03 elastomeric insulators: Lead core, High damping and Natural rubber; 03 types of floors: Rigid Floor S1, Intermediate Floor S2 and Flexible Floor S3; 02 seismic zones: Zone 4 (0.45) and Zone 3 (0.35); 02 periods of vibration of structural systems: Reinforced concrete frames and walls; 01 type of overload: buildings (200 kg/m²); 03 values of the rubber shear modulus: lower limit, intermediate limit and upper limit; and, 20 reinforced concrete buildings with different levels: from 01 to 20 levels. Conclusion: Elastomeric isolators influence the reduction of seismic acceleration in the base of reinforced concrete buildings subjected to Peruvian seismic records, because elastomeric isolators with a lead core, high damping and natural rubber reduce seismic acceleration.

Keywords: Elastomeric isolators, seismic acceleration, reinforced concrete buildings.

RESUMEN

El trabajo busca determinar de qué manera la eficiencia de los aisladores elastoméricos influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado sometidos a registros sísmicos peruanos. Metodología: Estudio de tipo aplicado, basado en el código ASCE/SEI 7-22 y en la Norma Técnica E.031-19. Resultados: Se consideraron: 03 aisladores elastoméricos (Núcleo de plomo, Alto amortiguamiento y Caucho natural), 03 tipos de suelos (Suelo Rígido S1, Suelo Intermedio S2 y Suelo flexible S3), 02 zonas sísmicas: Zona 4 (0.45) y Zona 3 (0.35); 02 periodos de vibración de sistemas estructurales: Pórticos y Muros de concreto armado; 01 tipo de sobrecarga: edificaciones (200 kg/m²); 03 valores del módulo de corte del caucho: límite inferior, límite intermedio y límite superior; y, 20 edificaciones de concreto armado con diferentes niveles: desde 01 hasta 20 niveles. Conclusión: Los aisladores elastoméricos influyen en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado sometidos a registros sísmicos peruanos, debido a que los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, de alto amortiguamiento y de caucho natural reducen la aceleración sísmica.

Palabras clave: Aisladores elastoméricos, aceleración sísmica, edificaciones de concreto armado.

¹ Correo: ricardo.oviedo.s@uni.pe

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9292-2050>

Doctorado en Ingeniería Civil – EUPG – UNFV

² Correo: genner_vc@hotmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1768-646X>

Asesor, profesor y autor en Ingeniería Sismo-Resistente

DOI: <https://doi.org/10.24039/cv20221011437>



Introducción

En la actualidad, en el Perú el diseño de aisladores y la eficiencia de mejorar el desempeño sísmico en las edificaciones de concreto reforzado no están muy claras, debido a los terremotos que sucedieron en nuestro país. Los sismos severos causan diversos grados de daño a los edificios (Salazar, 2018), por lo que el código intenta minimizar su impacto mediante procedimientos o tecnologías de diseño sísmico, los cuales se establecen de manera implícita o explícita ciertos objetivos de desempeño de las estructuras ante distintos niveles de la intensidad de la acción sísmica (Pérez et al., 2018). Este método incluye el soporte de la estructura (superestructura) en una unidad horizontal flexible. El sistema (capa de aislamiento) hace que el edificio se mueva lateralmente casi como un bloque rígido reduciendo en gran medida la aceleración. (Taboada y Fernández, 2019). En 2019, el New York Times informó que hay aproximadamente 9.000 edificios en Japón que utilizan la famosa tecnología, que ha ganado cada vez más seguidores en diferentes países. Además, miles de edificios están equipados con amortiguadores, que pueden reducir en gran medida los daños y evitar el colapso (Ferrin, 2020).

Con el desarrollo de materiales aislantes básicos se han comprobado buenos resultados, como la reducción del grado de daño a elementos estructurales y no estructurales, los países se están enfocando en formular normativas para gestionar el análisis y diseño de dichos edificios. Actualmente, algunos de los estándares internacionales más importantes incluyen Japón, Estados Unidos, China, Europa, Italia, etc. En Latinoamérica, Chile y México han promulgado regulaciones sobre edificaciones aisladas, y otros países como Perú, Ecuador y Colombia también están estudiando este tema (Piscal y López, 2018). Por otro lado, en América del Sur, desde la década de 1990 en Chile, se ha verificado la experiencia inicial de uso de sistemas de protección sísmica en estructuras, y en los últimos años, combinado con el caso de estas tecnologías, ya sea aislamiento sísmico o disipación de energía, aumentan exponencialmente (Ferrin, 2020).

Por su parte, Zellat y Kadri (2015) mencionó que desde 2014 se han utilizado sistemas de aislamiento sísmico para mejorar el comportamiento sísmico de los puentes y reducir los daños al absorber grandes cantidades de energía sísmicamente inducida y transferirla a la estructura. Actualmente, existen diferentes métodos para aislar los edificios de las fuerzas generadas por los

terremotos, que tienen el mismo objetivo, incluso si el edificio está separado del movimiento del suelo. Entre los principales tipos de aisladores, podemos encontrar: aisladores elásticos convencionales (aisladores elásticos de baja amortiguación (LDR) y aisladores elásticos de alta amortiguación (HDR), aisladores elásticos de núcleo de plomo y aisladores de fricción (péndulo de fricción FPS y deslizador plano).

Cabe mencionar, que, el Perú se ubica en la Zona del cinturón de fuego del Pacífico con alto riesgo sísmico, debido al continuo desarrollo del proyecto Perú, que involucra el uso de aisladores sísmicos, es necesario comprender la respuesta estructural de las distintas edificaciones a las vibraciones periódicas.

Tena (2020), señala que durante un terremoto, la superestructura montada en el aislador básicamente se comporta como un cuerpo rígido y continúa su movimiento, mientras que el aislante absorbe el desplazamiento requerido para el movimiento del terreno de desplazamiento. Concluyendo que, existen enormes riesgos y desafíos en estos aspectos para asegurar un diseño sísmico responsable, ético y resiliente.

Por otro lado, Liu et al. (2018), señala que de acuerdo con diferentes estructuras de código, se introducen las condiciones limitadas para la linealización equivalente del sistema de péndulo de fricción (FPS) y los campos de aplicación del análisis estático lineal simplificado (LSA). Sus resultados mostraron que el método LSA puede reemplazar estimaciones conservadoras de desplazamiento y energía total de entrada, reemplazando así el método de análisis no lineal preciso en el diseño preliminar de edificios con cimientos de aislamiento sísmico.

Léger et al. (2017), señala que intentaron utilizar el método adaptativo escaso PCE (ASPCE) para reducir este efecto, que puede construir polinomios dispersos de alto orden con una evaluación de muestra limitada. El método ASPCE reduce el costo computacional general mientras mantiene la precisión. Comparamos los efectos de la optimización determinista y los resultados de RBDO sobre el aislamiento básico y la infraestructura fija afectados por el mismo tipo de acción.

Mallikarjun et al. (2015), señala que su estudio utiliza un edificio de concreto reforzado (RCC) de tres pisos como modelo. El sistema auxiliar está ubicado en el primer piso de la PS. El SS está aislado del piso

de soporte de PS mediante cojinetes elásticos. El movimiento sísmico del suelo registrado a 25 ° N 95 ° E y PGA 0,003 y 0,0021 g registrados en la ubicación de la estación de registro en el área fronteriza de Myanmar se utilizaron como aceleración del suelo de entrada. Se evalúa la respuesta sísmica de SS con y sin aislamiento, y se estudia la influencia de la interacción PS y SS. Después del aislamiento, se observó que la respuesta sísmica del SS se redujo significativamente.

Estudios nacionales mencionaron a Pérez (2019), concluyendo que se logró convertir períodos cortos en períodos largos, significando que la estructura aislante resistió menores requisitos de simulación en comparación con la estructura básica aislante, lo que se debe a la flexibilidad del aislante. También debe atribuirse a los beneficios que proporciona: aceleración reducida y fuerza cortante reducida, por otro lado, asegurar un funcionamiento continuo durante y después del terremoto.

Solórzano (2019), señaló los resultados mostraron que, si el edificio está sobre un suelo rígido, el aislante será más efectivo; y en el suelo flexible con zona sísmica 2 (Z2S3), su eficiencia es el doble que el suelo flexible con zona sísmica 4 (Z4S3), por lo que en el caso de Z2S3, también se pueden considerar aislantes.

En tanto, Quispe (2018), realizó un estudio donde se consideraron edificios con bases fijas y bases aislantes, mediante un análisis de espectro modal dinámico utilizando ETABS 2015, basado en el diseño preliminar

de aisladores de alta amortiguación (HDR) y núcleo de plomo (LRB), comparando los resultados obtenidos en términos de desplazamiento relativo, aceleración absoluta y fuerza cortante sísmica. Para el análisis sísmico de estructuras con bases fijas y bases aisladas, se aplicó la norma de diseño sísmico de Perú NTE E-030 (2016), y los resultados de ASCE / SEI 7-10 y FEMA 274 para el diseño de aisladores, calculando la reducción en la demanda sísmica.

La investigación es teóricamente razonable, porque involucra diferentes modelos y teorías sobre los aisladores de elastómero, y proporciona un marco teórico que ayuda a comprender su impacto en la reducción de la aceleración sísmica en la base del edificio. De manera práctica, es bien sabido que el Perú se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, en donde, la magnitud del terremoto está relacionada con la aceleración del suelo, dañando gravemente la estructura y los componentes del edificio del sistema de salida. La racionalidad de la investigación radica en la necesidad de comprender la efectividad de los aisladores elastoméricos en la reducción de la aceleración sísmica de las edificaciones de hormigón armado.

Método

La aceleración sísmica espectral de la norma técnica E.030-18, considerando las zonas sísmicas Z4 y Z3, en los suelos (S1, S2 y S3); fueron aplicadas a las edificaciones considerando el período fundamental de vibración estimado con la expresión indicada en la misma norma, considerando la fracción del amortiguamiento crítico constante e igual a 0,05, se expresan en la tabla 1.

Tabla 1

Periodos de las edificaciones consideradas.

Número de Pisos	Altura de la Edificación (m)	Periodo de Vibración (s)	
		Edificios de Pórticos	Edificios duales y muros estructurales
1	3.50	0.100	0.058
2	7.00	0.200	0.116
3	10.50	0.300	0.175
4	14.00	0.400	0.233
5	17.50	0.500	0.291
6	21.00	0.600	0.350
7	24.50	0.700	0.408
8	28.00	0.800	0.466
9	31.50	0.900	0.525
10	35.00	1.000	0.583

11	38.50	1.100	0.641
12	42.00	1.200	0.700
13	45.50	1.300	0.758
14	49.00	1.400	0.816
15	52.50	1.500	0.875
16	56.00	1.600	0.933
17	59.50	1.700	0.992
18	63.00	1.800	1.050
19	66.50	1.900	1.108
20	70.00	2.000	1.167

La estimación del peso de las edificaciones, se realizó considerando el peso específico del concreto armado con una sobrecarga para hoteles de 200 kg/m². Adicionalmente el peso se determina considerando para edificaciones de la categoría C, un 25% de la carga viva, tal como se indica en la tabla 2. Posteriormente la carga sísmica horizontal se determina empleando la ecuación 5 de la Norma Técnica E.031-19 Aislamiento

Sísmico. Donde Z, U y S son los parámetros definidos en la Norma Técnica E.030-18. La carga sísmica vertical se ha calculado según el artículo 12 de la Norma Técnica E.031-19. Finalmente, los promedios mínimo y máximo de la carga vertical aplicada a cada unidad tipo de aislador, han sido calculados aplicando cargas sísmicas horizontales, debidas al Sismo Máximo Considerado de la Norma Técnica E.031-19.

Tabla 2
Peso de las edificaciones por niveles.

Número de pisos	Carga Muerta (t)	Carga viva	Carga vertical
		Hoteles (t)	Hoteles (t)
1	55.46	10.80	60.86
2	80.92	18.00	89.92
3	106.38	25.20	118.98
4	131.84	32.40	148.04
5	157.30	39.60	177.10
6	182.76	46.80	206.16
7	208.22	54.00	235.22
8	233.68	61.20	264.28
9	259.14	68.40	293.34
10	284.60	75.60	322.40
11	310.06	82.80	351.46
12	335.52	90.00	380.52
13	360.98	97.20	409.58
14	386.44	104.40	438.64
15	411.90	111.60	467.70
16	437.36	118.80	496.76
17	462.82	126.00	525.82
18	488.28	133.20	554.88
19	513.74	140.40	583.94
20	539.20	147.60	613.00

Para la determinación de la estabilidad de los aisladores elastoméricos se ha considerado el módulo de compresión y la capacidad axial basada en el módulo de corte del caucho definido en la tabla 3. El área reducida y la capacidad de pandeo, sometidos a una deformación angular durante el funcionamiento del sistema de

aislación, considerando los factores de seguridad, fueron determinados basados en el código ASCE/SEI 7-22. La deformación total por corte; que incluye la deformación por corte debido a deformación, compresión y deformación angular fueron determinados en base a la norma E.031-19.

Tabla 3
Módulo de corte de los aisladores (N/mm²).

COMPOSICIÓN	LRB	HDRB	NRB
BLANDA	0.40	0.40	0.30
NORMAL	0.60	0.80	0.40
DURA	1.15	1.40	0.44

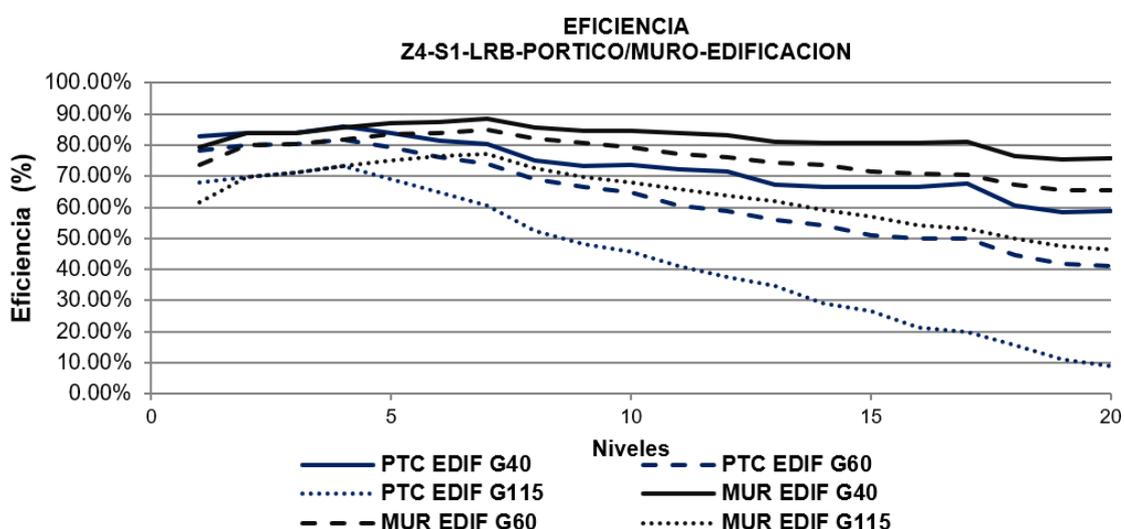
Para el análisis de las 240 edificaciones para el grupo de suelo firme, 240 edificaciones para el grupo de suelo intermedio y 240 edificaciones para el grupo de suelo blando, siendo un total de 720 edificaciones se utilizó el programa de software de hojas de cálculo Microsoft Excel. Una vez obtenidos los resultados, los datos fueron criticados para asegurar su confiabilidad, estos datos fueron organizados y procesados construyendo una tabla de frecuencias para que de ella se pueda derivar una tabla estadística, utilizando la lógica inductiva y deductiva para expresar claramente los resultados del análisis.

Resultados

Aisladores de núcleo de plomo

En la figura 1, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z4 y suelo S1 del aislador LRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificaciones (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S1. Como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es alto, variando desde 68% a 88%, debido que es un suelo tipo S1, el suelo rígido en que las ondas sísmicas atraviesan sin originar inestabilidad de asentamiento diferencial. (Figura 1)

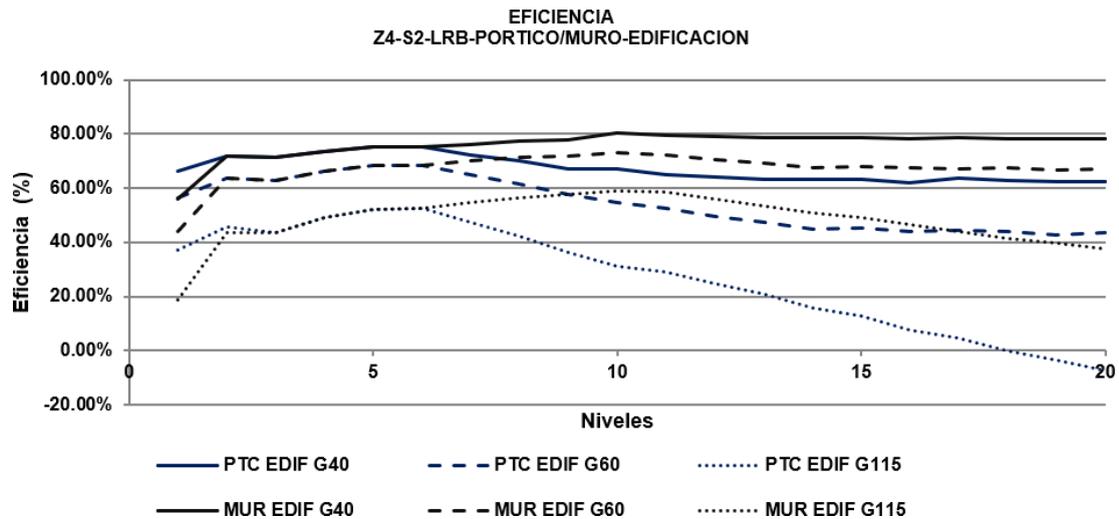
Figura 1
Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1).



En la figura 2, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z4 y suelo S2 del aislador LRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificaciones (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115

correspondiente a suelo S2. Como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es medio alto, variando de 37% a 80%, debido que es un suelo tipo S2 (suelo intermedio con aceleraciones entre 180m/s y 500m/s).

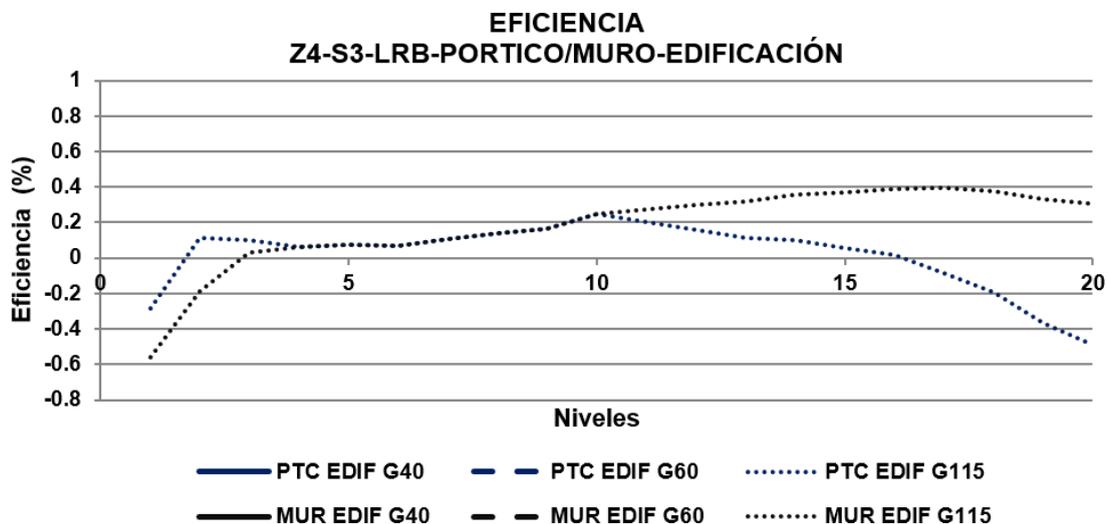
Figura 2
Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2).



En la figura 3, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z4 y suelo S3 del aislador LRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificaciones (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115

correspondiente a suelo S3, para lo cual el porcentaje de eficacia es baja, variando de 9% a 27% para los primeros 10 niveles, el suelo al ser arenoso el suelo es inestable al ser propenso a asentamientos diferenciales.

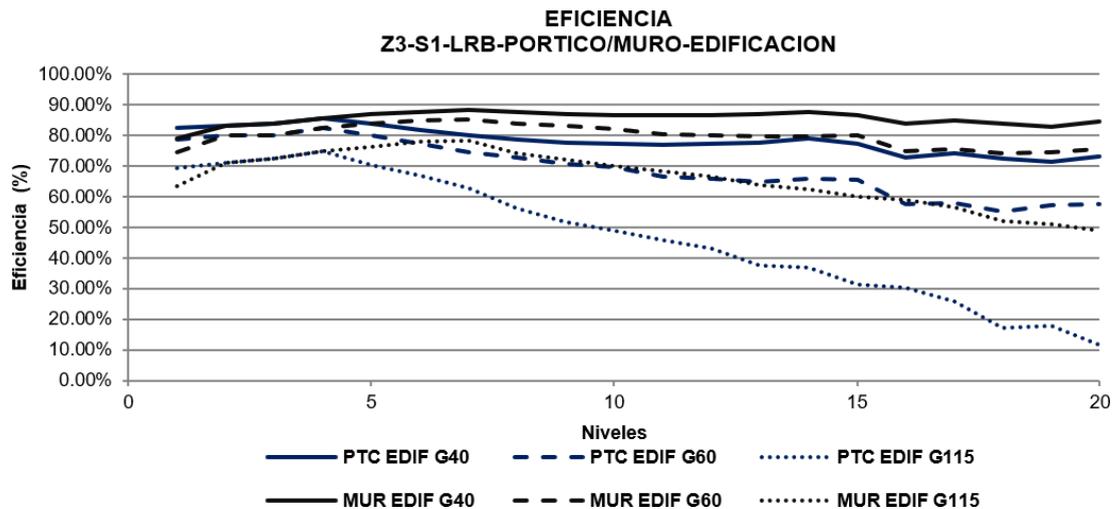
Figura 3
Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3).



En la figura 4, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z3 y suelo S1 del aislador LRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificaciones (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S1. como indica el análisis el

porcentaje de eficiencia es muy alto, variando entre 69% a 87% para los primeros 10 niveles, debido que la edificación se encuentra solo un suelo rígido, en que las ondas sísmicas se propagan a grandes velocidades que no origina oscilaciones en la edificación, no ocasionando asentamiento en la edificación.

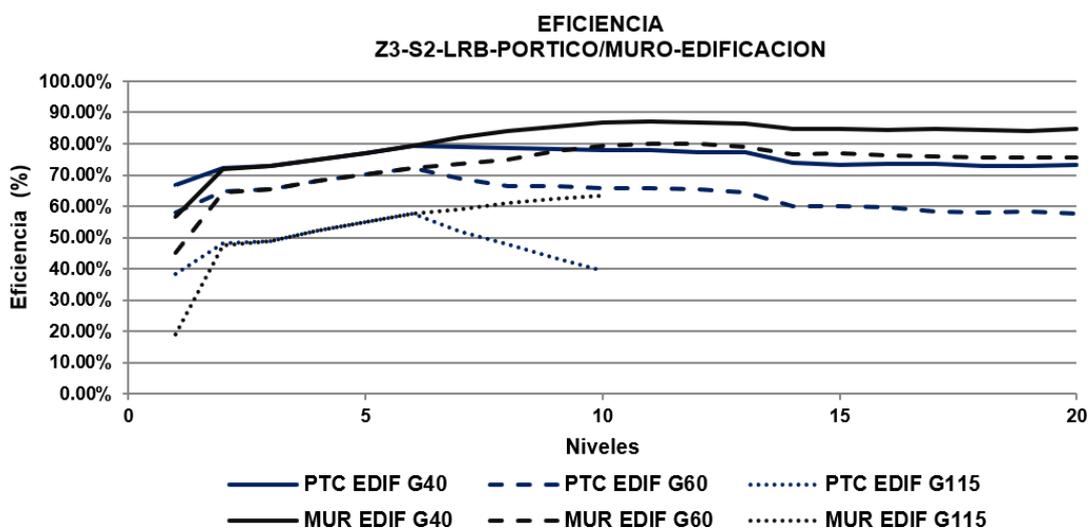
Figura 4
Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1).



En la figura 5, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z3 y suelo S2 del aislador LRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificaciones (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S2, para lo cual el porcentaje

de eficacia es buena variando entre 48% al 87% para los primeros 10 niveles, el suelo al ser arena densa, gruesa a media, o grava arenosamente medianamente densa, el suelo es inestable al ser propenso a asentamientos diferenciales.

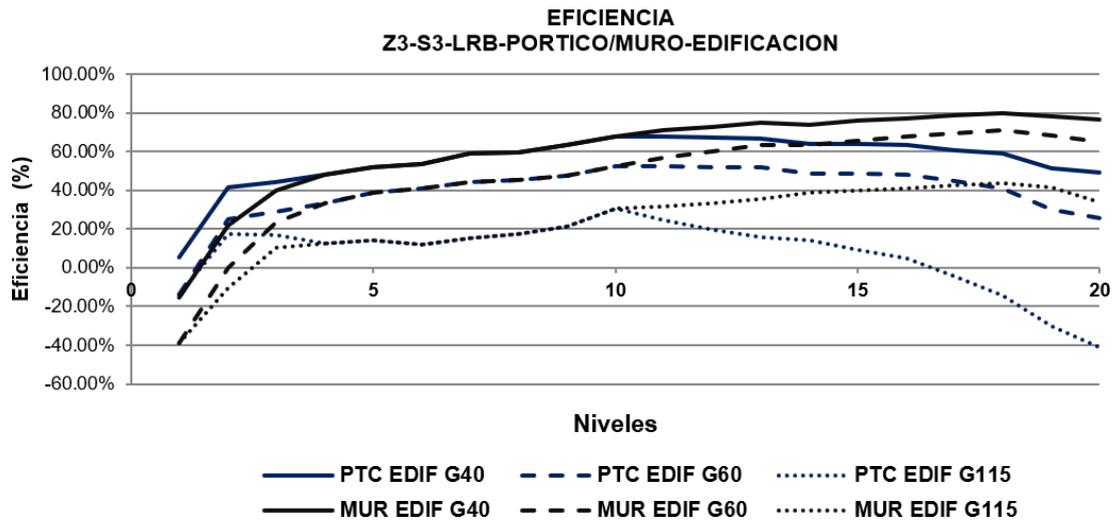
Figura 5
Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2).



En la figura 6, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z3 y suelo S3 del aislador LRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificaciones (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S3, para lo cual el porcentaje

para los pisos de 1 al 10 rondan entre el 46% al 69% de eficiencia, el suelo al ser arenoso el suelo es inestable al ser propenso a asentamientos diferenciales más sumado a zona sísmica Z3 que es medianamente con actividad sísmica.

Figura 6
Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3).

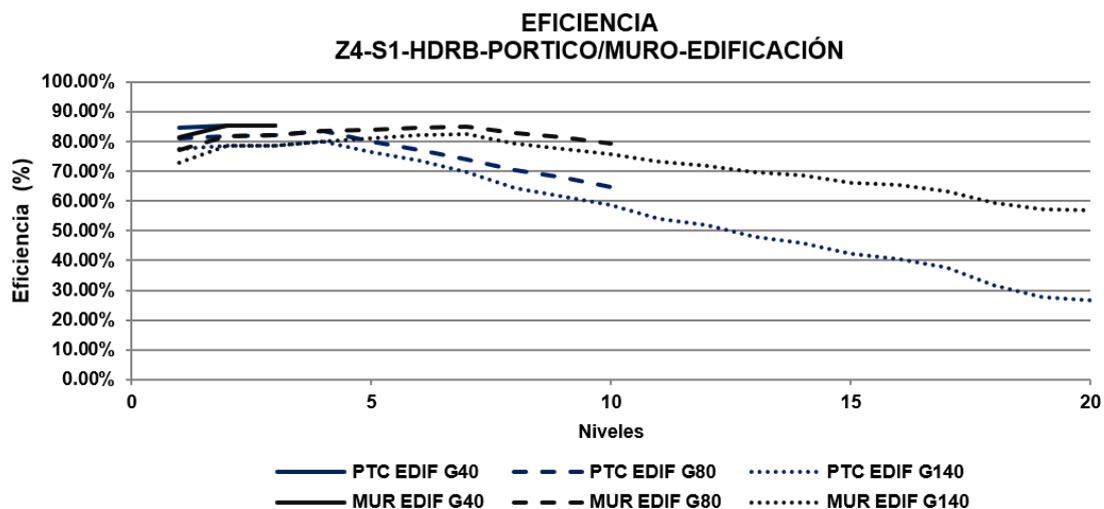


Aisladores de alto amortiguamiento

En la figura 7, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z4 y suelo S1 del aislador HDRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificaciones (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140 correspondiente a suelo S1, el porcentaje de eficiencia

para los pisos de 1 al 10 rondan entre el 73% al 75% de eficiencia, concluyendo que en los pisos superiores al número 10, baja la eficiencia debido a la oscilación, considerando un sismo severo de en la zona Z4.

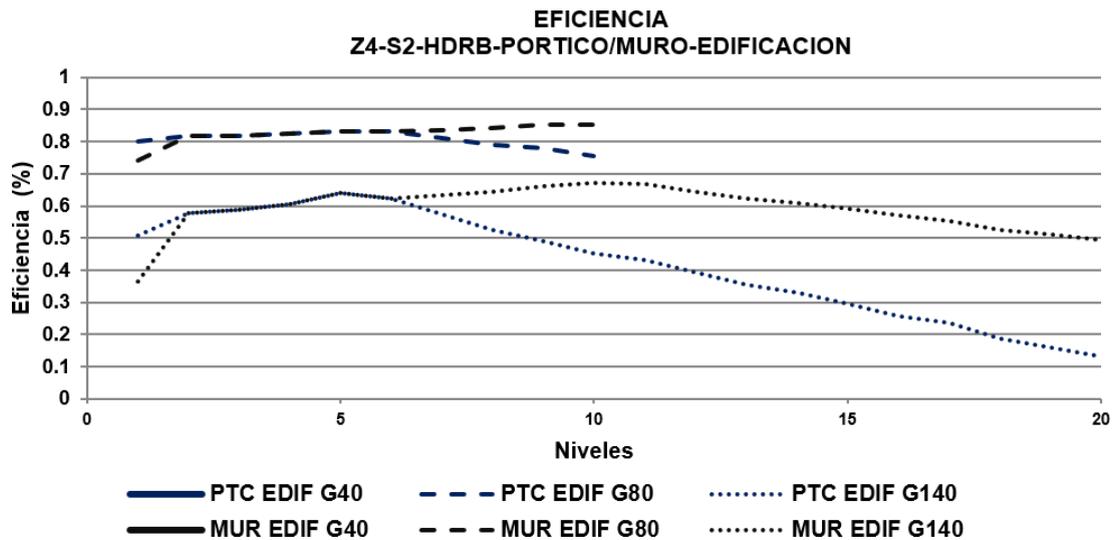
Figura 7
Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1).



En la figura 8, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z4 y suelo S2 del aislador HDRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificación (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140 correspondiente a suelo S2, el porcentaje de eficiencia

para los pisos de 1 al 10 rondan entre el 60% al 80% de eficiencia, concluyendo que en los pisos superiores al número 10, baja la eficiencia debido a la oscilación, así mismo se aprecia una eficiencia muy baja (que cae al 15% de eficiencia) para los PTC EDIF G140 y PTC EDIF G140.

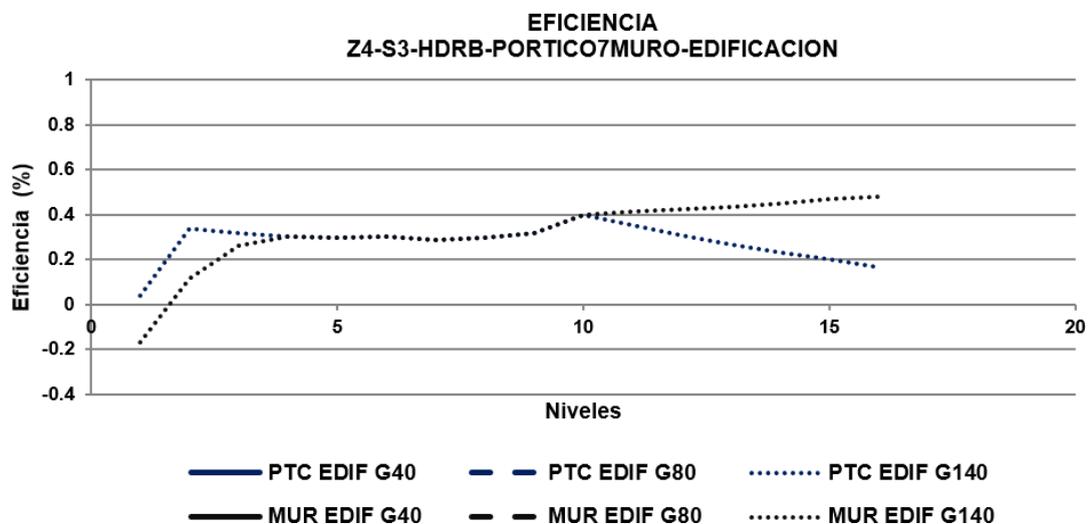
Figura 8
Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2).



En la figura 9, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z4 y suelo S3 del aislador HDRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificación (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140

correspondiente a suelo S3, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre 1.5% al 40% de eficiencia, concluyendo que en los pisos superiores al número 10.

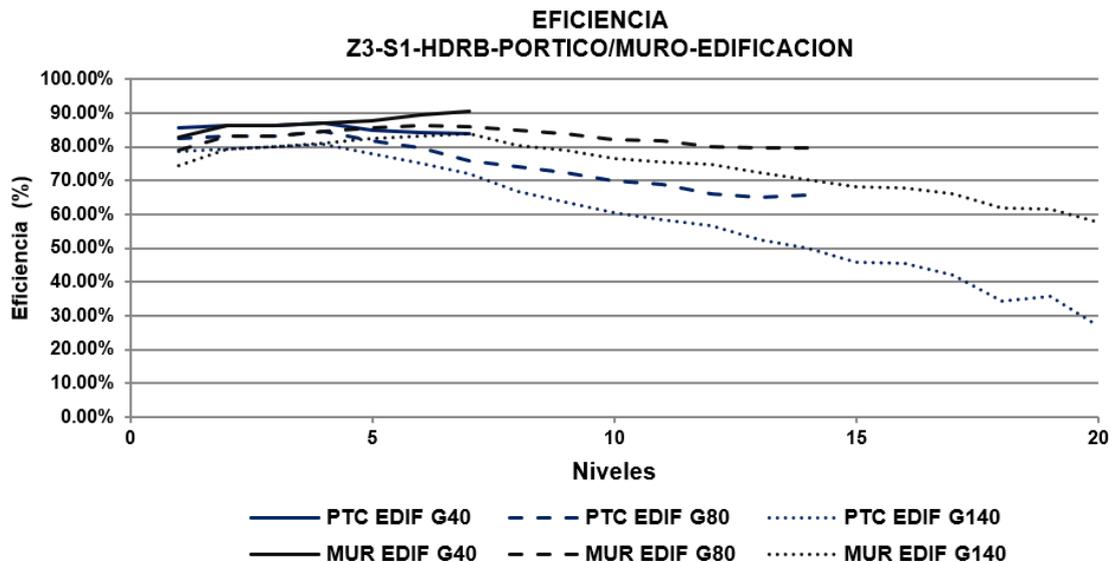
Figura 9
Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3).



En la figura 10, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z3 y suelo S1 del aislador HDRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificación (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140

correspondiente a suelo S1, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre 67% al 87% de eficiencia, concluyendo que en los pisos superiores al número 10 son deficientes al tener un eficiencia que llega al 26%.

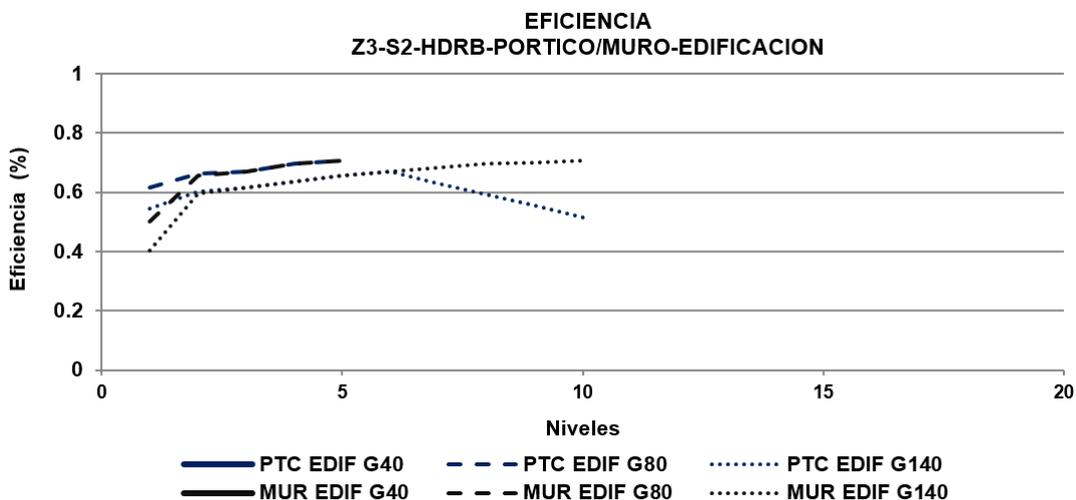
Figura 10
Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1).



En la figura 11, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z3 y suelo S2 del aislador HDRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificación (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140

correspondiente a suelo S2, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre 51% al 61% de eficiencia, concluyendo que en los pisos superiores al número 10 son deficientes al tener un eficiencia que llega al 24%.

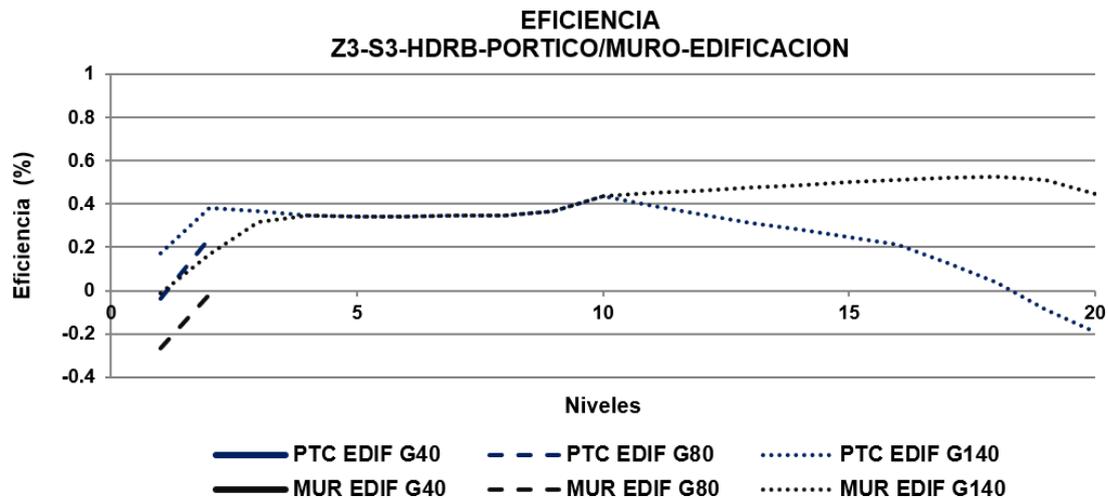
Figura 11
Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2).



En la figura 12, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z3 y suelo S3 del aislador HDRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificación (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G40, G80,

G140 correspondiente a suelo S3, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre 16% al 44% de eficiencia, concluyendo que afectaría de manera crítica le edificación, no teniendo buena eficiencia los aisladores en general.

Figura 12
Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3).



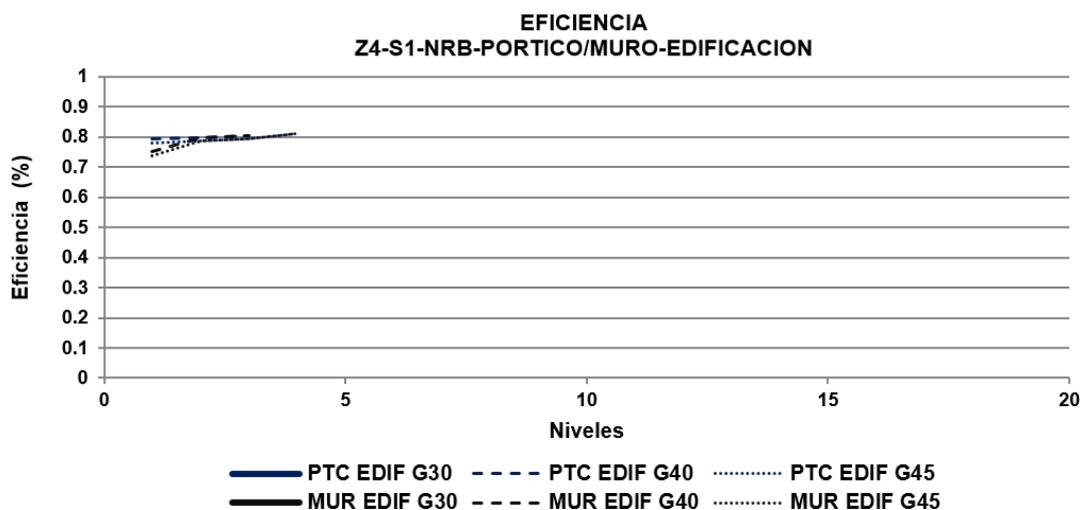
Aisladores de caucho natural

En la figura 13, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z4 y suelo S1 del aislador LDRB (NRB) expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificación (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G30, G40, G45 correspondiente a suelo S1, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 3 rondan entre 78% al 81%

de eficiencia, concluyendo que no afectaría de manera crítica le edificación en su sismo.

Para el caso del aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) no es aplicable para suelos blandos ni intermedios en la zona sísmica Z4 (altamente sísmica).

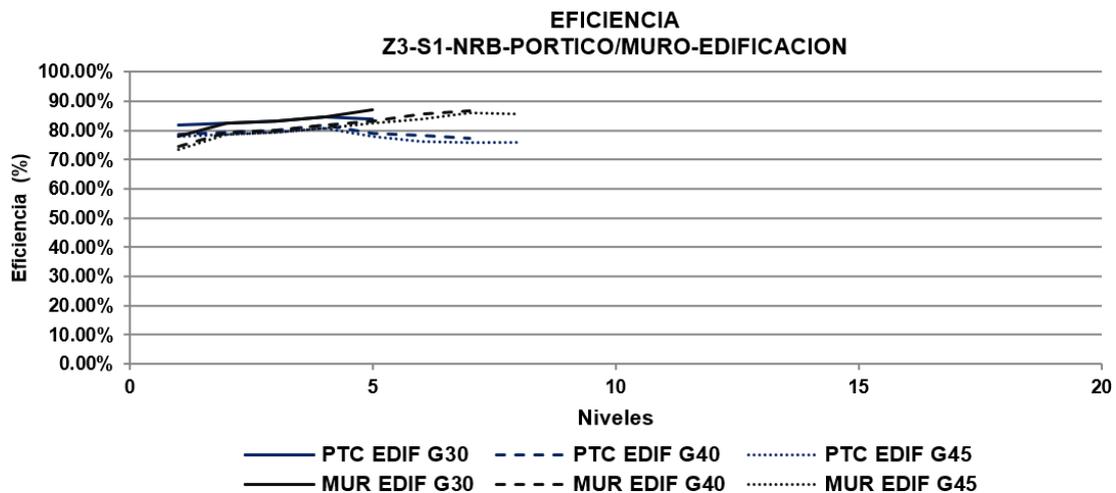
Figura 13
Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1).



En la figura 14, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z3 y suelo S1 del aislador LDRB (NRB) expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificación (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G30,

G40, G45 correspondiente a suelo S1, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 4 rondan entre 78% al 85% de eficiencia, concluyendo que no afectaría de manera crítica a la edificación en un sismo.

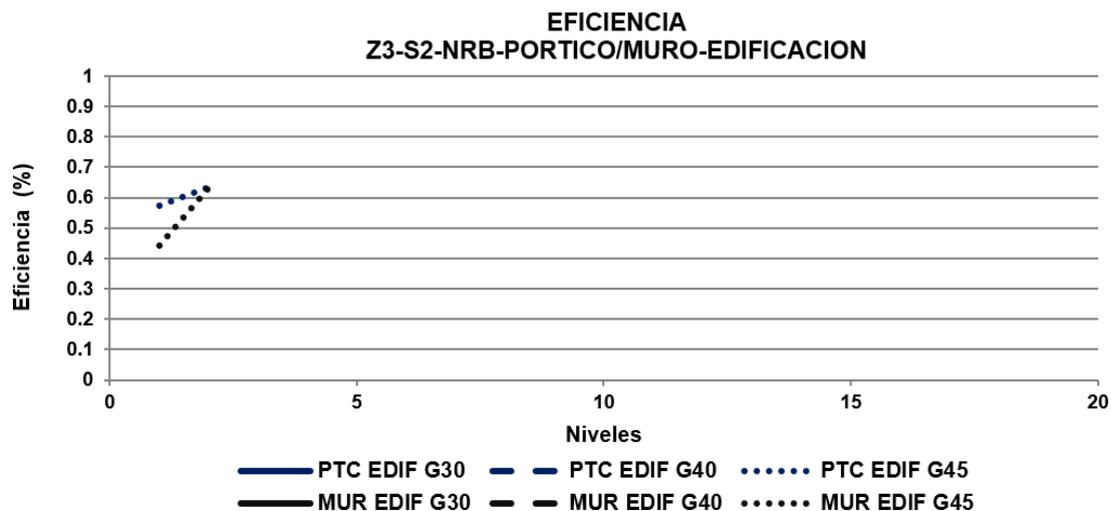
Figura 14
Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1).



En la figura 15, se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z3 y suelo S2 del aislador LDRB (NRB) expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro edificación (PTC/MUR EDIF) con los módulos elásticos del caucho G30, G40, G45 correspondiente a suelo S2, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 a 2 rondan entre 44% al 64% de eficiencia, concluyendo que afectaría de manera leve la edificación en un sismo.

Para el caso del aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) no es aplicable para suelos blandos en la zona sísmica Z3 (mediana sismicidad).

Figura 15
Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2).



Discusión

Al realizar el estudio, en cuanto al objetivo específico 1: Determinar de qué manera los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo influyen en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú, se pudo apreciar en la figura 1, que la curva de eficiencia es expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G60, G115 correspondiente a suelo S1. A todo ello, se considera una eficiencia muy buena, al tener de factor de eficiencia el suelo rígido en que las ondas sísmicas atraviesan sin originar inestabilidad de asentamiento diferencial, fenómeno que no es controlado por los aisladores sísmicos. En tanto, se evidenció en la figura 2, que la curva de eficiencia es expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G60, G115 correspondiente a suelo S2.

Por otro lado, se observó en la figura 3, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos para un edificio con aisladores tipo (LRB), en un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G60, G115, correspondiente a suelo S3, en donde el porcentaje de eficacia es baja; y, al ser un suelo arenoso es inestable por ser propenso a asentamientos diferenciales. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje de eficiencia es bajo, debido que el componente del suelo tipo 3, corresponde arena fina o gravas arenosas teniendo menos velocidad de propagación de ondas sísmicas ocasionando mayor aceleración sísmica.

Al respecto, en la figura 4, se observa que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos para un edificio con aisladores tipo(LRB) para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G60, G115, correspondiente a suelo S3, el porcentaje de eficacia es baja, debido a un suelo arenoso es inestable siendo propenso a asentamientos diferenciales. Es por ello, que en el análisis el porcentaje de eficiencia es muy alto, debido a que la edificación se encuentra en un suelo rígido, en donde las ondas sísmicas se propagan a grandes velocidades que no origina oscilaciones en la edificación, no ocasionando asentamiento en la edificación.

Se aprecia en la figura 5, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos para un edificio con aisladores tipo (LRB) para un

pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G60, G115, correspondiente a suelo S3, el porcentaje de eficacia es regular, debido a que el suelo al ser arena densa, gruesa a media, o grava arenosamente medianamente densa, el suelo es inestable al ser propenso a asentamientos diferenciales. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje de eficiencia es bueno, debido que la edificación se encuentra en una zona intermedio, en que las ondas sísmicas se propagan a grandes velocidades que origina oscilaciones en la edificación, ocasionando leve asentamiento en la edificación.

Se aprecia en la figura 6, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos para un edificio con aisladores tipo (LRB) para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G60, G115, correspondiente a suelo S3, en donde el porcentaje de eficacia es baja, y al ser arenoso el suelo es inestable siendo propenso a asentamientos diferenciales más sumado a zona sísmica 3 que es medianamente con actividad sísmica. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje de eficiencia es bajo, debido a que el componente del suelo tipo 3, corresponde arena fina o gravas arenosas teniendo menos velocidad de propagación de ondas sísmicas ocasionando mayor aceleración sísmica. Al respecto, nuestro estudio se asemeja a lo expuesto por Quispe (2018) en donde concluyó que, para el análisis sísmico de estructuras con bases fijas y bases aisladas, la norma de diseño sísmico de Perú NTE E-030 (2016) y los resultados de ASCE / SEI 7-10 y FEMA 274 para el diseño de aisladores miden la reducción en la demanda sísmica, y muestra la importancia de utilizar sistemas de protección contra terremotos de acuerdo con las normas vigentes contra terremotos en Perú.

En relación al objetivo específico 2: Determinar de qué manera los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú, se pudo apreciar en la figura 8, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S1, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre el 60% al 88% de eficiencia, considerando que en los pisos superiores al número 10, baja la eficiencia debido a la oscilación, considerando un sismo severo de en la zona 4. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje de eficiencia es muy alto, debido a que la edificación se encuentra en suelo rígido, en donde las ondas sísmicas se propagan

a grandes velocidades que no origina oscilaciones en la edificación, no ocasionando asentamiento en la edificación, teniendo más eficiencia que el aislador LRB.

Se aprecia en la figura 8, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S2, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre el 60% al 88% de eficiencia, por lo que se considera que en los pisos superiores al número 10, baja la eficiencia debido a la oscilación, así mismo se aprecia una eficiencia muy baja (que cae al 10% de eficiencia) para los MUR EDIF G140. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje de eficiencia es regular, debido que la edificación se encuentra solo un suelo intermedio, en que las ondas sísmicas se propagan a medianas velocidades que origina oscilaciones en la edificación, ocasionando asentamiento en la edificación.

Se aprecia en la figura 9, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S3, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre -20% al 50% de eficiencia, concluyendo que en los pisos superiores al número 10. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje de eficiencia es muy baja con valores de 1.5% a 40%, debido que la edificación se encuentra solo unos suelos blandos compuestos de arenas media, gravas arenosas, en que las ondas sísmicas se propagan a bajas velocidades que origina oscilaciones en la edificación, ocasionando asentamiento en la edificación.

Se aprecia en la figura 10, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S3, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre -20% al 50% de eficiencia, concluyendo que en los pisos superiores al número 10 son deficientes al tener una eficiencia que llega al 25%. Es por ello, en el análisis el porcentaje de eficiencia es alto con valores de 67% a 87% en los 10 primeros pisos, debido que la edificación se encuentra en un suelo muy rígido (muy bueno) compuestos de roca fractura, arena muy densa, en que las ondas sísmicas se propagan en altas velocidades originando menos oscilaciones en la edificación, generando mayor eficiencia.

Se aprecia en la figura 11, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de

pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S2, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre 70% al 50% de eficiencia, concluyendo que en los pisos superiores al número 10 son deficientes al tener una eficiencia que llega al 25%. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje de eficiencia es alta con valores de 61% a 51% en los 10 primeros pisos, debido que la edificación se encuentra en un suelo intermedio (regular) compuestos de arena densa, en que las ondas sísmicas se propagan en altas velocidades originando menos oscilaciones en la edificación, generando mayor eficiencia.

Se aprecia en la figura 12, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S3, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre 50% al -30% de eficiencia, concluyendo que afectaría de manera crítica la edificación, no teniendo eficiencia los aisladores en general. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje de eficiencia es baja con valores de 16.36% a 34% en los 10 primeros pisos, debido que la edificación se encuentra en un suelo blando (muy malo) compuestos de arena suelta, en que las ondas sísmicas se propagan en menor velocidades originando mayor oscilación en la edificación, generando menor eficiencia. Cabe mencionar, que nuestros resultados son en parte similares al estudio de Pérez (2019) concluyó que, desde un punto de vista económico, el aislamiento básico de la estructura básica a largo plazo, también debe atribuirse a los beneficios que proporciona: aceleración reducida y fuerza cortante reducida, por otro lado, asegurar un funcionamiento continuo durante y después del terremoto.

Por último, respecto al objetivo específico 3: Determinar de qué manera los aisladores elastoméricos de caucho natural influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú, se pudo apreciar en la figura 13, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G30, G40, G45, correspondiente a suelo S1, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 3 rondan entre 78% al 81% de eficiencia, por lo que se considera que no afectaría de manera crítica la edificación en su sismo. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje, solo hace referencia hasta la altura de cuatro pisos, pues tiene limitada aplicación al ser un material natural, por lo que se aprecia que la eficiencia es óptima con valores del 78% al 81%.

Para la zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2), el aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) no es aplicable para suelos intermedios. Mientras que, para la zona sísmica 4 y suelos blandos (S3), el aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) no es aplicable para suelos blandos.

Se aprecia en la figura 14, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G30, G40, G45, correspondiente a suelo S1, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 3 rondan entre 78% al 88% de eficiencia, por lo que se considera que no afectaría de manera crítica la edificación en su sismo. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje, solo hace referencia hasta la altura de cuatro pisos, pues tiene limitada aplicación al ser un material natural, por lo que se aprecia que la eficiencia es óptima con valores del 78% al 85%.

Se aprecia en la figura 15, que la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico edificación (PTC EDIF) con módulos elásticos de G30, G40, G45, correspondiente a suelo S2, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 a 2 rondan entre 45% al 65% de eficiencia, concluyendo que afectaría de manera leve la edificación en su sismo. Es por ello, que, en el análisis el porcentaje, solo hace referencia hasta la altura de dos pisos, pues tiene limitada aplicación al ser un material natural, por lo que se aprecia que la eficiencia es óptima con valores del 58% al 63%.

Para la zona sísmica 3 y suelos intermedios (S3), el aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) no es aplicable para suelos blandos.

Conclusiones

Los aisladores elastoméricos influyen en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú, debido a que los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, de alto amortiguamiento y de caucho natural reducen la aceleración sísmica, los cuales contaron con 20 modelos de edificios de diferentes niveles, en las zonas sísmicas denominadas Z4 y Z3 (40 resultados), con perfiles de suelo entre las cuales se consideraron a S1, S2 y S3 (120 resultados). Así mismo, se consideraron sistemas entre pórticos y muros estructurales (240 resultados), sobrecarga de edificaciones (240 resultados), se tomaron en cuenta aisladores entre LRB, HDRB y NRB (720); y, Módulos elásticos entre inferior, intermedio y superior (2180).

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú, ya que la eficiencia del aislador tipo LRB (elastomérico con núcleo de plomo) es mejor en una estructura de sistema Pórtico en comparación a un sistema de muro, Concluyendo, una eficiencia muy buena, al contar con factor de eficiencia de suelo rígido en donde las ondas sísmicas atraviesan sin originar inestabilidad de asentamiento diferencial, fenómeno que no es controlado por los aisladores sísmicos.

Los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú, ya que la eficiencia del aislador tipo HDRB (Aisladores de alto amortiguamiento) es mejor en una estructura de sistema Pórtico en comparación a un sistema de muro. Concluyendo, una eficiencia muy alta, debido a que la edificación se encuentra en suelo rígido, en donde las ondas sísmicas se propagan a grandes velocidades que no origina oscilaciones en la edificación, no ocasionando asentamiento en la edificación, teniendo mucha más eficiencia que el aislador LRB.

Los aisladores elastoméricos de caucho natural influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú, ya que la eficiencia del aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural-LDRB) es mejor en una estructura de sistema Pórtico en comparación a un sistema de muro. Concluyendo, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 3 rondan entre 78% al 81% de eficiencia, por lo que se considera que no afectaría de manera crítica la edificación en su sismo.

Financiamiento: El presente trabajo de investigación fue autofinanciada por los autores.

Conflicto de interés: La autora declara que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna. }

Referencias

- Ferrin, L. (2020). Aislamiento base, la técnica de la ingeniería que promete salvaguardar las vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo. Pontificia Universidad Javeriana.
- Léger, N., Rizzian, L., y Marchi, M. (2017). Reliability-based design optimization of reinforced concrete structures with elastomeric isolators. *Procedia Engineering*, 199, 1193–1198.
- Liu, T., Zordan, T., Briseghella, y Zhang, Q. (2018). Simplified Linear Static Analysis for Base-Isolated Buildings with Friction Pendulum Systems. *Structural Engineering International*, 24(4), 490–502.
- Mallikarjun, P., Jagtap, P., Kumar, P., y Matsagar, V. (2015). Performance of seismic base-isolated building for secondary system protection under real earthquakes. *Advances in Structural Engineering: Dynamics*, 2(1), 1353–1363.
- Pérez, J., Aguirre, J., y Ramírez, L. (2018). Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México. *Salud Pública de México*, 60(1), 41–51. <https://doi.org/10.21149/9300>
- Pérez, B. (2019). Análisis comparativo de comportamiento y costos de una estructura convencional y una estructura con aislamiento de base. Tesis para la obtención de Grado de Máster en Ingeniería Estructural y Sísmica.
- Piscal, C., y López, F. (2018). Proposal for the future design code for seismic isolation of buildings in Colombia. *DYNA*, 85(207), 306–315.
- Quispe, H. (2018). Aislamiento sísmico de base para minimizar los daños en el Centro de Salud “Pedro Sánchez Meza”-Chupaca 2016. Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Gerencia de la Construcción Moderna.
- Salazar, G. (2018). Terremotos y salud: lecciones y recomendaciones. *Salud Pública de México*, 60(1), 6–15. <https://doi.org/10.21149/9445>
- Solórzano, E. (2019). Influencia de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un hospital con aislamiento sísmico en la base. Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil.
- Taboada, D., y Fernández, V. (2019). Seismic Response of a Five Story Building With Isolation System and Supplemental Viscous Dampers for Peruvian Seismicity. *TECNIA*, 29(2), 75–79.
- Tena, A. (2020). Aspects to consider in the design of seismic isolated structures in firm and soft soils. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 25(3), 333–365.
- Zellat, K., y Kadri, T. (2015). Influence of seismic isolation system on bridge responses. *Revista Ingeniería de Construcción*, 30(3), 210–214.