

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

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

Línea de investigación:
Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor:
Oviedo Sarmiento, Ricardo Ramón

Asesor:
Villarreal Castro, Genner Alvarito
(ORCID: 0000-0003-1768-646X)

Jurado:
Ramos Flores, Miguel Ángel
Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique
Tello Malpartida, Omart Demetrio

Lima - Perú
2022

Índice

Índice de tablas	iv
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Descripción del problema.....	2
1.3. Formulación del problema.....	4
1.4. Antecedentes	5
1.5. Justificación de la investigación	10
1.6. Limitaciones de la investigación.....	11
1.7. Objetivos.....	11
II. Marco Teórico	13
2.1. Marco conceptual.....	13
2.1.1. Aisladores elastoméricos	13
2.1.2. Riesgo sísmico	15
2.1.3. Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento – LDRB.....	15
2.1.4. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDRB)	17
2.1.5. Aislador elastomérico de núcleo de plomo (LRB)	18
2.1.6. Sistema de aislamiento sísmico	20
2.1.7. Estabilidad de los aisladores elastoméricos	24
2.1.8. Fuerza de restitución lateral	26
2.1.9. Análisis estático	26
2.1.10. Combinaciones de carga	27
2.1.11. Módulo de corte del caucho	27
2.1.12. Estimación de pérdidas por sismo - hazus	28
2.1.13. Aceleración equivalente del terreno.....	29
III. Método.....	30
3.1. Tipo de investigación.....	30
3.2. Población y muestra.....	31
3.2.1. Población.....	31
3.2.2. Muestra	32
3.3. Operacionalización de las variables.....	32
3.4. Instrumentos.....	32
3.5. Procedimiento	33
3.5.1. Pseudo aceleraciones	33
3.5.2. Zona sísmica	34
3.5.3. Factor de suelo	35

3.5.4. Espectros elásticos considerados	35
3.5.5. Números de pisos	37
3.5.6. Periodo fundamental de vibración	37
3.5.7. Estimación del Peso	38
3.5.8. Metrado de carga muerta por nivel	39
3.5.9. Metrado de carga viva por nivel	39
3.5.10. Carga sísmica horizontal.....	40
3.5.11. Carga sísmica vertical	41
3.5.12. Características de los aisladores.....	42
3.5.13. Resumen.....	44
3.6. Análisis de datos	44
IV. Resultados	46
4.1. Aisladores de núcleo de plomo	46
4.2. Aisladores de alto amortiguamiento	58
4.3. Aisladores de caucho natural	70
V. Discusión de resultados	82
VI. Conclusiones	91
VII. Recomendaciones	93
VIII. Referencias.....	94
IX. Anexo	97
9.1. Matriz de consistencia	97

Índice de tablas

Tabla 1 Valores mínimos de factores de modificación máximo - dispositivos Clase I.....	22
Tabla 2 Valores máximos de factores de modificación mínimo - dispositivos Clase I.....	22
Tabla 3 Factores de modificación superior para los dispositivos Clase II.....	23
Tabla 4 Factores de modificación inferior para los dispositivos Clase II.....	23
Tabla 5 Módulo de corte de los aisladores según los fabricantes	28
Tabla 6 Tipos de edificios según su altura	29
Tabla 7 Equivalente PGA (g) – Nivel alto del código de diseño sísmico.....	29
Tabla 8 Operacionalización de la variable independiente	32
Tabla 9 Fracción de la aceleración de la gravedad	34
Tabla 10 Perfiles de Suelo – E030 – 2018	35
Tabla 11 Relación de registros sísmicos	35
Tabla 12 Periodos de las edificaciones consideradas.....	38
Tabla 13 Metrado de carga muerta - aislador central.....	39
Tabla 14 Metrado de carga viva - aislador central.....	39
Tabla 15 Peso de las edificaciones por niveles – aislador central	40
Tabla 16 Carga sísmica horizontal - aislador central	41
Tabla 17 Carga sísmica vertical – aislador central	41
Tabla 18 Módulo de corte de los aisladores (N/mm ²).....	42
Tabla 19 Dimensiones de los aisladores (mm)	43
Tabla 20 Resumen de edificios de diferentes niveles	44
Tabla 21 Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1).....	46
Tabla 22 Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2).....	48
Tabla 23 Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)	50
Tabla 24 Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)	51

Tabla 25 Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1).....	52
Tabla 26 Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)	54
Tabla 27 Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)	56
Tabla 28 Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1).....	58
Tabla 29 Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)	60
Tabla 30 Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)	62
Tabla 31 Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1).....	64
Tabla 32 Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)	66
Tabla 33 Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)	68
Tabla 34 Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1).....	70
Tabla 35 Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)	72
Tabla 36 Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)	74
Tabla 37 Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1).....	76
Tabla 38 Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)	78
Tabla 39 Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)	80

Índice de figuras

Figura 1 Aislador elastoméricos de bajo amortiguamiento LDRB.....	16
Figura 2 Aislador elastoméricos de alto amortiguamiento HDRB	18
Figura 3 Aislador elastoméricos con núcleo de plomo LRB	20
Figura 4 Zonas Sísmicas – E.030 Diseño Sismorresistente.....	34
Figura 5 Pseudoaceleraciones con $\xi=5\%$ en suelo S1: suelo muy rígido	36
Figura 6 Pseudoaceleraciones con $\xi=5\%$ en suelo S2: suelo intermedio	36
Figura 7 Pseudoaceleraciones con $\xi=5\%$ en suelo S3: suelo blando.....	36
Figura 8 Vistas de los modelos de las edificaciones.....	37
Figura 9 Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1)	47
Figura 10 Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)	49
Figura 11 Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1)	53
Figura 12 Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)	55
Figura 13 Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3).....	57
Figura 14 Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1)	59
Figura 15 Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)	61
Figura 16 Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3).....	63
Figura 17 Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1)	65
Figura 18 Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)	67
Figura 19 Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3).....	69
Figura 20 Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1)	71
Figura 21 Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)	73
Figura 22 Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3).....	75
Figura 23 Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1)	77

Figura 24 Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2) 79

Figura 25 Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)..... 81

Resumen

El presente trabajo titulado “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”. **Objetivo:** 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 aplicada, nivel descriptivo y explicativo, a través de análisis documental, códigos internacionales de diseño, la Normas técnicas E.030 y E.031. **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; 02 tipos de sobrecargas: hoteles (200 kg/cm^2) y hospitales (300 kg/m^2); 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: eficiencia, aisladores elastoméricos, aceleración sísmica, edificaciones de concreto armado.

Abstract

The present work entitled "Efficiency of elastomeric insulators in reducing seismic acceleration in the base of reinforced concrete buildings subjected to Peruvian seismic records". Objective: 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, descriptive and explanatory level, through documentary analysis, international design codes, technical standards E.030 and E.031. 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; 02 types of overloads: hotels (200 kg/cm²) and hospitals (300 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: efficiency, elastomeric isolators, seismic acceleration, reinforced concrete buildings.

I. INTRODUCCIÓN

Los terremotos severos causan diversos grados de daño a los edificios, por lo que el código intenta minimizar su impacto mediante procedimientos o tecnologías de diseño sísmico (por ejemplo, aislamiento sísmico).

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. El uso de este sistema puede reducir en gran medida la deriva y la aceleración. (Taboada y Fernández-Dávila, 2019, p. 75).

El cuerpo de este estudio se divide en 9 capítulos: Capítulo I, referidos al planteamiento del problema, descripción del problema y la formulación del problema. En este mismo Capítulo, se propuso los estudios previos relacionados con la presente investigación, tanto internacionales y nacionales; así como la justificación, limitaciones, determinación de objetivos considerados para desarrollar esta investigación.

El capítulo II, está referido al marco teórico, bases teóricas de ambas variables. En el capítulo III se describe la metodología empleada: tipo, población y muestra, operacionalización de las variables, instrumentos, procedimiento y análisis de datos. En el capítulo IV se muestran los resultados obtenidos luego de su procesamiento, los cuales conllevaron al desarrollo del capítulo V, VI y VII para plantear su respectiva discusión y culminar con las conclusiones y recomendaciones, respectivamente.

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, en el entorno donde estamos diseñando aisladores, no está clara la eficiencia de mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones de concreto reforzado que sufrieron los terremotos peruanos.

Este estudio determinará la eficiencia del aislante elástico en la base del edificio de concreto aislada multicapa en la reducción de la aceleración sísmica con base en los registros sísmicos obtenidos por Perú en diferentes suelos del territorio del país.

1.2. Descripción del problema

Los terremotos son algunos de los factores que los ingenieros y arquitectos deben tener en cuenta a la hora de realizar proyectos de construcción de viviendas o edificios básicos. Esta es una realidad para la industria de la construcción en áreas de riesgo sísmico como Japón, China, Turquía, Italia, México, Perú y Chile.

En el año 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". Por ejemplo, en el terremoto de Kobe en 1995, murieron aproximadamente 6.000 personas. En ese momento, solo 24 edificios estaban equipados con bases experimentales hechas de caucho. El 27 de febrero de 2010, Chile sufrió uno de los terremotos más espantosos de la historia: un terremoto de 8,8 grados de magnitud sacudió violentamente las regiones central y sur del país, matando a unas 540 personas. Además, destruyó unas 500.000 casas y dejó a casi 2 millones de personas sin hogar. (Ferrin, 2020)

En los Estados Unidos, el primer edificio aislado fue Foothill Community Law and Justice Center (FCLJC). El edificio comenzó a principios de 1984 y se terminó a mediados de 1985. No solo fue el primer edificio aislado en los Estados Unidos, sino también el primero en el mundo en utilizar aisladores de caucho de alta amortiguación. Fire Command and Facility (FCCF) es otro edificio que utiliza aisladores de caucho de alta amortiguación en FCLJC, etc.

Pascal-Arévalo y López-Almansa (2018) revelaron:

Con el desarrollo de materiales aislantes básicos, y 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. (p. 307)

En Japón, el diseño sísmico siempre ha sido una prioridad absoluta. El Japón también es muy activo en la adopción de materiales aislantes para el diseño sísmico. El número de terminaciones del primer edificio de cimientos aislantes en 1986 aumentó al nivel de unos diez edificios aislados cada año en 1990 y 1991. Debido a la recesión económica, el número de edificios aislados disminuye de 4 a 5 cada año. En el terremoto de Kobe en enero de 1995, el número de edificios aumentó a alrededor de 80. El edificio más representativo es el West Japan Post Computer Center, que resistió con éxito el terremoto de Kobe.

Por su parte, Zellat y Kadri (2015) mencionaron 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. (p. 210)

Bajo los auspicios del Grupo de Trabajo Nacional Europeo de Aislamiento Sísmico, Italia tiene la investigación más activa sobre el aislamiento de fondo. El nuevo centro de gestión de la Compañía Estatal de Teléfonos es uno de los edificios.

En Nueva Zelanda, el primer edificio aislado fue el edificio William Clayton en Wellington. El edificio se completó en 1981 y fue el primer edificio del mundo en utilizar aisladores de caucho con núcleo de plomo para el aislamiento.

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)

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).

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.

1.3. Formulación del problema

Problema general

¿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?

Problemas específicos

P.2. ¿De qué manera los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado sometidos a registros sísmicos peruanos?

P.1. ¿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 sometidos a registros sísmicos peruanos?

P.3. ¿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 sometidos a registros sísmicos peruanos?

1.4. Antecedentes

Investigaciones internacionales

Tena (2020) realizó un estudio en México publicado en su artículo titulado: “Aspectos a Considerar en el Diseño de Estructuras con Aislamiento Sísmico en Suelos Firmes y Blandos”. Revista Internacional de Ingeniería de Estructura. El objetivo básico del aislamiento sísmico es desacoplar la respuesta dinámica de la estructura del movimiento del suelo mediante la introducción de un dispositivo especial llamado aislador. Para los edificios, el aislador generalmente se ubica entre la base y la superestructura, mientras que las carreteras y el estribo, por lo tanto, 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. Por el contrario, si el aislamiento sísmico se realiza sin un estudio detallado de sitio, y si no se considera la interacción entre suelo y estructura, la aplicación del aislamiento sísmico en cimentaciones de suelo blando no traerá grandes ventajas y será contraproducente. Por lo tanto, presenta brevemente los aspectos a considerar en la aplicación de suelos blandos. Existen enormes riesgos y desafíos en estos aspectos para asegurar un diseño sísmico responsable, ético y resiliente”.

Liu et al. (2018) en su artículo titulado: “Análisis estático lineal simplificado para edificios con base aislada”, publicado en la Revista Internacional de Ingeniería estructural.

China, dijeron que, en muchos códigos estructurales, se proponen varios métodos de análisis para el diseño de edificios de cimientos aislados. 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). Se llevó a cabo el LSA de estructuras de hormigón armado con aislamiento FPS y se comparó con un análisis histórico de tiempo no lineal (FNA) rápido para evaluar la aplicabilidad del método simplificado. Sobre la base del espectro específico utilizado en las nuevas regulaciones italianas, se seleccionaron siete movimientos sísmicos del terreno que se ajustan al espectro y se escalaron a la entrada sísmica. Para realizar análisis lineales y no lineales de forma sistemática, MATLAB ha desarrollado un programa junto con software comercial. Seleccione el desplazamiento de la cimentación, la fuerza cortante histórica y la disipación de energía como indicadores de respuesta. Los resultados muestran 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. Sin embargo, dado que se supone una distribución uniforme de la aceleración a la altura de la estructura, LSA subestima en gran medida la fuerza cortante del piso.

Léger et al. (2017) en su estudio sobre Reliability-based design optimization of reinforced concrete structures with elastomeric isolators, publicado en Procedia Engineering, Italia. En este trabajo se realizó un RBDO multiobjetivo de estructuras de hormigón armado con base aislante elástica. La capa de aislamiento sísmico hace que la superestructura sea menos susceptible a los movimientos del suelo causados por terremotos y reduce los daños al edificio. No solo optimizamos el tamaño de la superestructura (utilizando las secciones transversales de vigas, columnas y barras de acero como variables de decisión de entrada), sino que también optimizamos las variables de la subcategoría de aisladores (tipo de caucho

elástico, desplazamiento permisible y tamaño). La fuente de incertidumbre es la carga vertical y el coeficiente de amortiguación de la carcasa. Teniendo en cuenta las limitaciones de probabilidad (y los objetivos, si corresponde), nuestro objetivo es minimizar el costo de la superestructura, así como minimizar la aceleración y el desplazamiento del piso superior para reducir los costos de mantenimiento. La respuesta probabilística se da en percentiles calculados utilizando el método de expansión caótica polinomial (PCE). Las respuestas estadísticas de los PCE pueden ser muy precisas, pero su costo computacional es prohibitivo para grandes cantidades de incertidumbre o órdenes polinomiales superiores. Intentamos 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. 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) ejecutaron una investigación en la India titulado: Performance of seismic base-isolated building for secondary system protection under real earthquakes. Este trabajo proporciona una investigación sobre la efectividad de las técnicas básicas de aislamiento para sistemas auxiliares. Este estudio utiliza un edificio de concreto reforzado (RCC) de tres pisos como modelo. El aislamiento de la base PS utiliza cojinetes de bujía laminados. 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.

Investigaciones nacionales

Pérez (2019) en su tesis titulado: Análisis comparativo de comportamiento y costos de una estructura convencional y una estructura con aislamiento de base, Comparamos el rendimiento y el costo de los edificios tradicionales (edificios de cimientos empotrados) y los edificios con aisladores elásticos de núcleo de plomo. Primero, use el programa Etabs para modelar la estructura convencional, y use el estándar de diseño sísmico E.030 para análisis sísmico, luego use el estándar técnico E.060 para el diseño de elementos de concreto reforzado, y luego analice el comportamiento de la estructura y evaluar su costo. En segundo lugar, idealice la estructura con base de aislamiento y utilice el borrador de la base de aislamiento estándar E.031 y ASCE 7-16 para el análisis sísmico, luego diseñe los componentes de concreto reforzado, luego analice el desempeño de la estructura y finalmente evalúe el costo. Finalmente, además de comparar sus costos, se compara el desempeño de la estructura diseñada convencionalmente y la infraestructura aislada. La conclusión es que este objetivo se logra al convertir períodos cortos en períodos largos, lo que significa que la estructura aislante resistirá menores requisitos de simulación en comparación con la estructura básica aislante, lo que se debe a la flexibilidad del aislante; también se puede ver que cuando se utilizan aisladores básicos, el aumento del costo estructural es mucho mayor. 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.

Solórzano (2019) en su tesis tuvo como objetivo evaluar la influencia de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un hospital con aislamiento sísmico, mediante la comparación de resultados obtenidos del análisis y diseño, considerando 3 casos de estudio que se diferencian por tener distintas condiciones de suelo y zona sísmica. En el marco de los requisitos normativos de nuestros códigos nacionales de edificación, se evaluó el desempeño

estructural del edificio en estudio: NTE E.020 (carga), NTE E.030 (diseño sísmico), NTE E.050 (suelo y cimentación). Fundación y NTE E.060 (hormigón armado); y normas profesionales de aislamiento sísmico: ASCE / SEI 7-16 y proyecto de norma técnica E.031 de Perú. Los resultados del análisis espectral muestran que cuando el edificio está aislado, el desplazamiento del entrepiso y la fuerza cortante en la parte inferior de la superestructura se reducen, y el desplazamiento de los pisos flexibles y rígidos se reduce en un 50% y 70%, respectivamente. En la fuerza de corte, el suelo flexible y el suelo rígido son 20% y 50%, respectivamente. El parámetro de eficiencia muestra 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.

Quispe (2018) realizó un estudio en su tesis titulado: Aislamiento sísmico de base para minimizar los daños en el Centro de Salud "Pedro Sánchez Meza"-Chupaca 2016. En este trabajo se propuso un marco teórico para el aislamiento sísmico mediante aisladores elastoméricos y se analizó la respuesta sísmica de un caso específico: la construcción del Centro de Salud Pedro Sánchez Meza en la provincia de Chupaca, provincia de Junipa. La institución médica es un edificio indispensable, que consta de tres pisos y un sótano para estacionamiento. Considerando edificios con bases fijas y bases aislantes, se realizó un análisis de espectro modal dinámico utilizando el programa ETABS 2015, que se basó en el diseño preliminar de aisladores de alta amortiguación (HDR) y núcleo de plomo (LRB), y consideró la combinación y el factor. Ubicación adecuada, compare 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, 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.

1.5. Justificación de la investigación

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. Aunque los aisladores sísmicos son herramientas de alta tecnología para proteger los edificios de los efectos destructivos de los terremotos, se basan en el diseño sísmico estándar técnico actual E.030, lo que obliga a las nuevas edificaciones de categoría A1 ubicados en la Zona 4 y Zona 3 a tener Aislamiento sísmico en la base.

En cuanto a razones prácticas, es bien sabido que el Perú se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico. La magnitud del terremoto está relacionada con la aceleración del suelo, que puede dañar gravemente la estructura y los componentes del edificio del sistema de salida (ascensores, escaleras y puertas). La aceleración máxima del terreno en un edificio de concreto armado en el Perú debe estar en un cierto valor, este valor debe permitir al sistema reducir la posibilidad de una caída repentina en el desempeño durante un terremoto, absorberlo y, lo más importante, evitar una pérdida indirecta provocada por la suspensión del tiempo y la reincorporación de la industria y sus empleados al trabajo y la posibilidad de regresar a un hogar seguro.

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, de esta manera, a través del proyecto, se pueden incorporar nuevos conocimientos en la toma de decisiones y reducir costos. trabajos.

En cuanto al argumento metodológico, se realizará la revisión de la literatura a partir de las variables y sus respectivas dimensiones para alcanzar las metas propuestas y estudiar la

influencia de las variables independientes sobre las variables dependientes. Cabe mencionar que el tipo de investigación es un diseño transversal aplicado, no experimental y descriptivo.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación tuvo como limitaciones lo siguiente:

- Desconocimiento de las variables en estudio, debido a la desinformación y distorsión de las concepciones.
- Exploración dificultosa, debido a la naturaleza de las competencias profesionales, en donde el planteamiento del problema considera como objeto la experiencia en el campo de la ingeniería.
- La generación de nuevos conocimientos no será posible, debido a que la investigación se apoya en teoría existente.
- Acceso a asesorías constantes, que pudieran fortalecer el manejo del marco teórico y de los procesos de tratamiento estadístico de los datos.

1.7. Objetivos

Objetivo general

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.

Objetivos específicos

O.1. Determinar de qué manera los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado sometidos a registros sísmicos peruanos.

O.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 sometidos a registros sísmicos peruanos.

O.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 sometidos a registros sísmicos peruanos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. *Aisladores elastoméricos*

Se concibió e instaló un aislador sísmico para que el movimiento horizontal de la cimentación causado por el terremoto no se transmitiera a la estructura. Generalmente, los aisladores no están diseñados para aislar el movimiento vertical, esto se debe a dos razones: Primero, la vibración vertical generada por un terremoto suele ser menor que la vibración horizontal. La segunda razón es que debido a que la estructura debe soportar cargas de gravedad, su diseño tiene una alta rigidez y capacidad para resistir cargas verticales. (Genatios y Lafuente, 2016)

El aislamiento del edificio incluye colocar una interfaz flexible entre el suelo y la estructura, lo que reduce en gran medida la tensión sísmica que soporta. Por lo tanto, se puede seleccionar un diseño con un factor de reducción de fuerza sísmica menor, cuyo resultado puede ser un edificio que no sufrirá daños durante y después del evento sísmico y permanecerá en pleno funcionamiento.

Hoy en día, el aislamiento básico considera un diseño estratégico destinado a reducir la energía de entrada de la cimentación. Esta estrategia logra su efectividad a través de los siguientes mecanismos:

- 1) Reduciendo la respuesta sísmica provocada por cambios en el período básico de la estructura.
- 2) La fuerza se transfiere limitada a la base. La alta capacidad de amortiguación del aislador puede controlar y reducir el desplazamiento relativo. (Aguiar et al., 2016, p. 23)

La dinámica del edificio aislado da cuenta de un nuevo sistema flexible que conduce a un aumento en el período básico de la estructura. Además, solo aumente la amortiguación en

los modos que provocan la deformación principal del sistema de aislamiento. Por las razones anteriores, se puede reconocer que las características de demanda sísmica de un área específica afectarán la respuesta de la estructura; para ello, se considerarán diversas variables para análisis numérico múltiple, y luego se obtendrá un dato que permita comprender estadísticamente en el cuerpo elástico La eficiencia de los aisladores para mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones de concreto armado que sufrieron el terremoto de Perú.

Del mismo modo, Aguiar et al. (2016) mencionaron:

Es un soporte compuesto por placas de acero y caucho vulcanizado alternativamente.

De esta forma, la rigidez del rodamiento está controlada por el grosor de la capa de caucho. Por tanto, cuanto más gruesas sean estas capas, más flexible será el soporte en dirección horizontal. En cambio, la rigidez vertical del rodamiento está controlada por la alta rigidez del suelo de la placa de acero, que puede suprimir la expansión lateral del caucho causada por la presión vertical. (p.23)

Los aisladores de elastoméricos consisten en un conjunto de láminas elásticas planas intercaladas con capas de acero vulcanizado. Los paneles de elastómero proporcionan la flexibilidad lateral necesaria para permitir un desplazamiento horizontal relativo entre la estructura y el suelo, mientras que los paneles de acero proporcionan la rigidez vertical del sistema de aislamiento para soportar cargas verticales.

El sistema de aislamiento sísmico proporciona flexibilidad lateral adicional al sistema, esencialmente extendiendo su período fundamental, de modo que se pueda convertir en una estructura con un período de vibración natural relativamente corto, que se desplaza sobre un suelo rígido con un período de suelo rígido en la base T1. El período fundamental T2 se puede traducir para establecer una estructura de aislamiento sísmico eficaz.

Por lo tanto, desde el punto de vista del diseño estructural por encima del sistema de aislamiento, esto es ventajoso, porque al aumentar el período efectivo de la estructura de

aislamiento sísmico, se lleva a un área del espectro de frecuencias en la que la aceleración es baja y, por lo tanto, actúa sobre el aislamiento La fuerza de inercia sobre la estructura sobre el sistema se reduce considerablemente, por lo que el impacto de las cargas sísmicas es mucho menor.

2.1.2. Riesgo sísmico

El riesgo de terremoto es la posibilidad de que las consecuencias sociales o económicas de un terremoto sean iguales o superen el valor especificado en el sitio dentro de un tiempo de exposición especificado. El peligro de terremoto es el resultado del riesgo de terremoto, como se describe en la siguiente relación:

$$\text{Riesgo Sísmico} = \text{Peligrosidad Sísmica} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Entre ellos, el peligro de terremoto representa la probabilidad de ocurrencia, en un movimiento sísmico de cierta intensidad que se produce dentro de un período de tiempo específico dentro de un área determinada. La vulnerabilidad al terremoto indica el grado de daño causado por una cierta intensidad de movimiento sísmico. (Aguiar et al., 2016, p. 14)

Cabe mencionar que la amenaza sísmica determina el espectro de diseño y su abscisa define el período de resonancia de la aceleración y el valor correspondiente de la frecuencia del círculo de resonancia. Cuanto más cerca esté el período del sistema del período de resonancia, mayor será la respuesta.

2.1.3. Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento – LDRB

Este tipo de equipos son los más simples entre los aisladores elásticos y consisten en un conjunto de capas escalonadas de acero y caucho que se vulcanizan para lograr la unión entre los dos materiales. Al entrelazar caucho y acero, puede mejorar su capacidad para resistir cargas de gravedad y la estabilidad de soportar cargas laterales. En estos dispositivos, sus partes

superior e inferior también tienen placas de acero para sujetar el núcleo y evitar que el caucho se comprima bajo cargas de gravedad.

Genatios y Lafuente (2016) manifestaron que, “El caucho utilizado para fabricar el aislante puede ser natural o sintético. Las propiedades mecánicas de los aisladores se verifican mediante pruebas de laboratorio y se entregan al diseñador o propietario”. (p. 55)

Características:

- Pueden ser de goma natural o sintética.
- Su comportamiento es lineal-elástico a bajas deformaciones y lineal-viscoso a altas deformaciones.
- Tienen una razón de amortiguamiento crítico entre 2% y 3% y valores de deformaciones de corte, máximo de 100%.

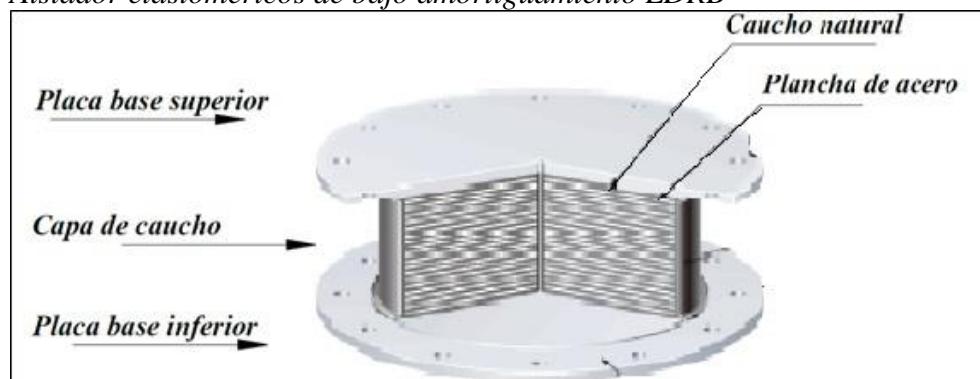
Ventajas:

- Son económicos y fáciles de fabricar.
- Su comportamiento es fácil de modelar con softwares estándares de diseño.
- Tienen una respuesta no fuertemente sensible a la velocidad de carga, la historia de la carga, la temperatura, y el envejecimiento.

Desventajas:

- Necesita sistema de amortiguamiento suplementario.

Figura 1
Aislador elastoméricos de bajo amortiguamiento LDRB



2.1.4. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDRB)

Son similares a los aisladores elastoméricos LDRB, excepto que tienen caucho mejorado al incorporar elementos químicos. Una característica importante de estos aisladores es que sus características dinámicas son sensibles a los cambios de frecuencia y temperatura, lo que resulta en una disminución de la rigidez y la amortiguación. Por tanto, cuando los dispositivos se someten a un ciclo de movimiento, presentan una mayor rigidez durante el primer ciclo de carga, rigidez que es generalmente estable después del tercer ciclo de carga. Por lo tanto, su comportamiento inicial puede ser significativamente diferente bajo diferentes ciclos de carga y deformación, y sus características iniciales pueden recuperarse con el tiempo.

Genatios y Lafuente (2016) en su libro: Introducción al uso de aisladores y disipadores de energía, mencionaron que, estos dispositivos tienen una gran resistencia a la carga vertical generada por la estructura, principalmente debido a la presencia de capas de acero, que limitan la deformación excesiva provocada por el hinchamiento de la capa de caucho, y no tienen gran influencia en el desplazamiento horizontal. El resultado es un elemento aislante con una alta rigidez vertical en comparación con una baja rigidez lateral. (p. 55)

Características:

- Tienen una razón de amortiguamiento crítico entre 10% y 20% y valores de deformaciones de corte, entre de 200% y 350%.
- El acrecentamiento del amortiguamiento se consigue debido a la incorporación de carbón negro extrafino, aceites o resinas y otros elementos.
- Su módulo de elasticidad de corte varía entre 50 a 200 psi al 100% de deformación por corte.
- La rigidez y amortiguamiento efectivo dependen de la presión de contacto,
- velocidad de carga, historia de carga (scragging) y la variación de temperatura.

Ventajas:

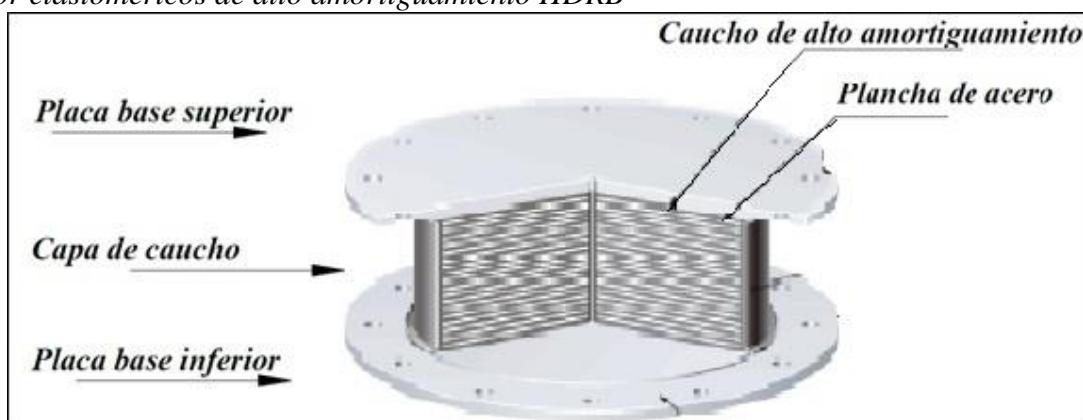
- Su fabricación es relativamente sencilla.
- Su comportamiento es fácil de modelar con softwares estándares de diseño.
- Combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento.

Desventajas:

- A elevadas temperaturas su rigidez horizontal y su amortiguamiento decrecen.
- Con el incremento de la carga axial su rigidez horizontal tiende a disminuir.
- Las propiedades mecánicas del caucho natural se pueden degradar con la exposición prolongada al oxígeno y al ozono.

Figura 2

Aislador elastoméricos de alto amortiguamiento HDRB



2.1.5. Aislador elastomérico de núcleo de plomo (LRB)

Estos aisladores son similares a LDRB, pero incluyen un núcleo de plomo ubicado en el centro del aislante, que puede aumentar su rigidez inicial (proporcionando un límite en las cargas de viento) y aumentar la capacidad de disipación de potencia al aumentar el nivel de amortiguación del sistema entre 25 y 50%. Cuando el aislante se deforma lateralmente bajo la acción de un terremoto, el núcleo del alambre fluirá, provocando una deformación plástica y disipando energía en forma de energía térmica.

Al final del terremoto, la goma del aislante devuelve la estructura a su posición original, mientras que el núcleo del alambre se recristaliza, manteniendo condiciones similares al estado original para resistir el nuevo evento sísmico.

Genatios y Lafuente (2016) descripción del contenido de plomo: para limitar el movimiento relativo y disipar energía, los aisladores deben producir valores de amortiguación altos. Para ello, se incluye un núcleo de plomo que permite una gran deformación y puede generar una gran amortiguación, y la amortiguación varía con el diámetro del núcleo de plomo. (p. 55)

Características:

- Bajo el 100% de deformación cortante, su módulo de elasticidad cortante varía de 85 a 100 psi. Su cambio característico no es tan grande como el aislante tipo HDRB, debido a que la deformación máxima por cizallamiento no supera el 200% (que va del 125% al 200%).
- La respuesta histerética depende en gran medida del desplazamiento lateral.
- Tienen una alta rigidez inicial, debido a que el límite elástico del plomo varía alrededor de 105 Kg/cm².
- A medida que aumenta la temperatura, los ciclos repetidos pueden reducir el límite elástico.
- Por lo general, el núcleo de plomo cubre del 15 al 33% del diámetro total del aislador.

Ventajas:

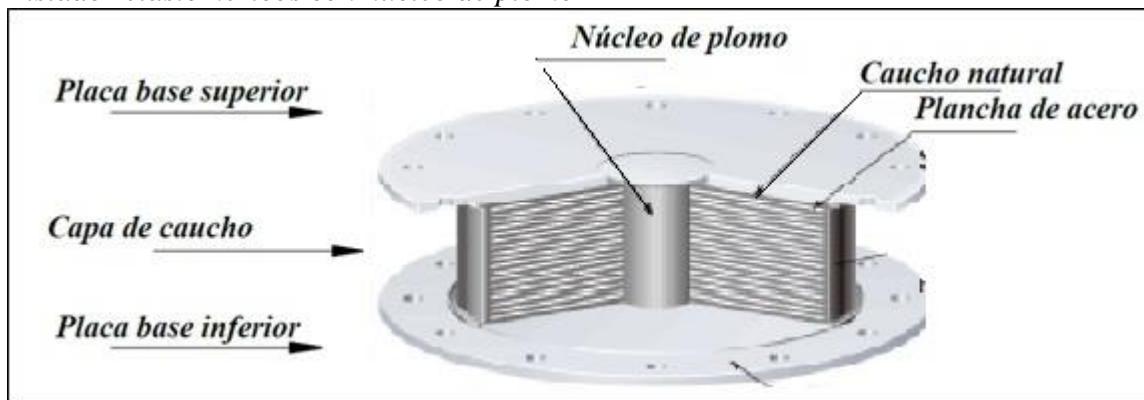
- El plomo es un material que tiene un alto nivel de rigidez antes de llegar a la fluencia y tiene una plasticidad perfecta tras la fluencia.
- El plomo es un material que se somete tanto a procesos de recuperación como de recristalización a temperatura ambiente, por lo que puede recuperar sus propiedades mecánicas tras una acción inelástica.

- Las propiedades mecánicas del núcleo de plomo no mostraron cambios significativos durante la vida útil (50 años) de la estructura.

Desventajas:

- El aumento de la temperatura ambiente afectará su rigidez horizontal.
- A medida que aumenta la carga axial, su rigidez horizontal tiende a disminuir.
- Sus propiedades dependen del historial de carga. A medida que aumenta el periodo, la rigidez y la amortiguación del núcleo disminuirán.
- Después de muchos ciclos, el plomo puede salir entre la placa de caucho y acero.
- Sensibles al fuego.

Figura 3
Aislador elastoméricos con núcleo de plomo LRB



2.1.6. Sistema de aislamiento sísmico

De acuerdo, al Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS, 2019):

- a) Modelar el sistema de aislamiento sísmico utilizando las características de deformación desarrolladas de acuerdo con los requisitos del artículo 13 de esta norma técnica.
- b) El desplazamiento y la fuerza lateral deben calcularse por separado para las características límite superior e inferior del sistema de aislamiento sísmico de acuerdo con lo establecido en el número 13.4 del artículo 13 de esta norma técnica.
- c) El sistema de aislamiento sísmico se debe modelarse en detalle para:

- Considerar la distribución espacial de las unidades aisladas.
 - Considerando la posición más desfavorable de excentricidad de la masa, estime la dirección horizontal y la torsión de la superestructura.
 - Evaluar el impacto de los momentos de vuelco y el posible levantamiento de la unidad de aislamiento.
 - Si la relación fuerza-deformación depende de una o más de estas variables, considere los efectos de la carga vertical, la acción bidireccional y la velocidad de la carga.
- d) El desplazamiento total (DTM) en el sistema de aislamiento sísmico se calcula mediante un modelo matemático, que incluye el sistema que resiste las fuerzas laterales y las características de fuerza-deformación de los componentes no lineales del sistema de aislamiento sísmico.

Estructura aislada

- a) Con la ayuda del modelo elástico lineal de la superestructura, se puede calcular el desplazamiento y la fuerza de diseño de cada capa del sistema sísmico.
- b) El análisis del sistema y la estructura de aislamiento sísmico se llevará a cabo para los tipos diferentes de módulos elásticos del caucho disponibles límite inferior, límite intermedio y límite superior respectivamente, y los resultados más críticos de cada parámetro de respuesta de interés se utilizarán en el diseño. (MVCS, 2019, p. 77)

En tanto, los criterios de aceptación para el sistema de aislamiento sísmico, se detallan a continuación:

- La rigidez y la amortiguación general del sistema de aislamiento sísmico se determinan en función de la contribución de cada dispositivo de prueba. Para el control deslizante, la contribución de cada dispositivo se considera el promedio de los valores de rigidez y amortiguación del control deslizante de prueba.

- En términos de rigidez y amortiguación, las características globales deben variar en $\pm 10\%$ del valor nominal asociado con el desplazamiento de $0.67D_M$. (MVCS, 2019, p. 81)

Tabla 1*Valores mínimos de factores de modificación máximo - dispositivos Clase I*

VALOR MÍNIMO PARA:	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	<i>u o Qd</i>	<i>u o Qd</i>	<i>K</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>
Factor Máximo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ($\lambda_{ae,max}$)	1.21	1.65	1	1	1	1.2	1.2
Factor Máximo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, <i>scrapping</i> ($\lambda_{tvs,max}$)	1.2	1.3	1.03	1.03	1.3	1.5	1.3
Factor Máximo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variaciones de fabricación ($\lambda_{fab,max}$)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Factor de Modificación Máximo Límite Superior: $\lambda_{max} = [1+0.75(\lambda_{ae,max}-1)] * \lambda_{tvs,max} * \lambda_{fab,max}$	1.6	2.25	1.3	1.3	1.5	2	1.7

Fuente: (MVCS, 2019, p.82)

Tabla 2*Valores máximos de factores de modificación mínimo - dispositivos Clase I*

VALOR MÍNIMO PARA:	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	<i>u o Qd</i>	<i>u o Qd</i>	<i>K</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>
Factor Mínimo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ($\lambda_{ae,min}$)	1	1	1	1	1	1	1
Factor Mínimo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, <i>scrapping</i> ($\lambda_{tvs,min}$)	0.95	0.95	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95
Factor Mínimo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variaciones de fabricación ($\lambda_{fab,min}$)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Factor de Modificación Mínimo Límite Inferior: $\lambda_{min} = [1+0.75(\lambda_{ae,min}-1)] * \lambda_{tvs,min} * \lambda_{fab,min}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Fuente: (MVCS, 2019, p.82)

Tabla 3*Factores de modificación superior para los dispositivos Clase II*

Variable	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	<i>u o Qd</i>	<i>u o Qd</i>	<i>K</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>
Factor Máximo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ($\lambda_{ae,max}$)	1.56	2.52	1.3	1.3	1	1.4	1.3
Factor Máximo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, <i>scrapping</i> ($\lambda_{tvs,max}$)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.6	1.95	1.59
Factor Mínimo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variasiones de fabricación ($\lambda_{fab,max}$)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Factor de Modificación Máximo Límite Superior: $\lambda_{max} =$ $[1+0.75(\lambda_{ae,max}-1)]^*$ $\lambda_{tvs,max} * \lambda_{fab,max}$	2.1	3.2	1.8	1.8	1.8	2.2	1.8

Fuente: (MVCS, 2019, p.83)

Tabla 4*Factores de modificación inferior para los dispositivos Clase II*

Variable	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	<i>u o Qd</i>	<i>u o Qd</i>	<i>K</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>	<i>Kd</i>	<i>Qd</i>
Factor Mínimo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ($\lambda_{ae,min}$)	1	1	1	1	1	1	1
Factor Mínimo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, <i>scrapping</i> ($\lambda_{tvs,min}$)	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Factor Mínimo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variasiones de fabricación ($\lambda_{fab,min}$)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Factor de Modificación Mínimo Límite Inferior: $\lambda_{min} =$ $[1+0.75(\lambda_{ae,min}-1)]^*$ $\lambda_{tvs,min} * \lambda_{fab,min}$	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Fuente: (MVCS, 2019, p.83)

2.1.7. Estabilidad de los aisladores elastoméricos

Conforme (MVCS, 2019) se han considerado a los siguientes:

Capacidad axial

- Módulo Elástico: $E_0 = f \times G$; el valor de f depende del proveedor.

Se sugiere usar el valor de $f=4,0$, a menos que el proveedor haya pasado el ASTM D945 o una prueba similar reconocida internacionalmente para demostrar su valor diferente.

Donde:

G = Módulo de corte del caucho, en MPa.

- Factor de Forma (S): ratio entre el área efectiva de una capa de caucho dividida entre su área de la superficie de borde.
- Módulo de Compresión: $E_C = E_0 (1 + 2 kS^2)$, en MPa.

Donde:

k = constante empírica que está en función del módulo de corte.

- Área reducida (AR):

Área de soporte de carga vertical del aislador, sometido a una deformación angular durante el funcionamiento del sistema de aislación.

$$AR = A_A \cdot 2 \left[\frac{D_e^2 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{D_e} \right) - D_{TM} \cdot \sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{\pi \cdot D_e^2} \right]$$

Donde:

A_A = Área del aislador, en mm^2

D_e = Diámetro del aislador sin corte de cobertura de caucho exterior, en mm.

D_{TM} = El desplazamiento total de los componentes del sistema de aislamiento en la dirección del análisis, incluidos los componentes de traslación y torsión en el centro de rigidez.

- Capacidad de Pandeo:

Área de soporte de carga vertical del aislador, sometido a una deformación angular durante el funcionamiento del sistema de aislación.

$$P_{crítico} = \frac{\pi}{\sqrt{8}} G \cdot S \frac{D_e}{N \cdot t_r} A_R$$

Donde:

N = número de capas de caucho

t_r = espesor de cada capa de caucho, en mm.

- Factores de seguridad (FS):

Solo para carga axial, FS = 3,0

Para carga axial última a D_{TM} , FS > 1,0

Deformaciones por corte.

- Deformación por corte debido a deformación:

Área de soporte de carga vertical del aislador, sometido a una deformación angular durante el funcionamiento del sistema de aislación.

$$\gamma_D = \frac{D_{TM}}{H_r} \leq 2,5$$

- Deformación por corte debido a compresión:

$$\gamma_C = \frac{6 \cdot P \cdot S}{E_C A_R}$$

- Deformación por corte debido a deformación angular:

$$\gamma_\theta = \frac{0,375 \cdot D_e^2 \cdot \theta}{t_r H_r}$$

Donde:

$\theta \geq 0,003$ en radianes.

- Deformación total por corte:

$$\gamma_D + \gamma_C + 0,5\gamma_\theta \leq 6$$

2.1.8. *Fuerza de restitución lateral*

El sistema de aislamiento sísmico debe ser diseñado para que sea capaz de producir una fuerza lateral de restitución en el desplazamiento máximo, considerando tanto sus propiedades límite superior como inferior, a fin que resulte mayor en por lo menos 0,025 P a la fuerza lateral correspondiente al 50% del desplazamiento máximo.

2.1.9. *Análisis estático*

La estructura debe estar ubicada en las zonas sísmicas 1 o 2, o en la zona 3 sobre suelos del tipo S1 o S2, o en la zona 4 sobre suelos tipo S1.

El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento translacional, TM, será menor o igual a 5,0 s.

La estructura sobre la interfaz de aislamiento no debe tener más de 4 pisos ni más de 20 m de altura. Esta altura debe ser medida desde el nivel de base de la estructura.

El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico correspondiente al desplazamiento translacional, βM , debe ser menor o igual a 30% del amortiguamiento crítico.

El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento translacional, TM, debe ser mayor que tres veces el periodo elástico de la estructura por encima del sistema de aislamiento sísmico, considerada con base fija.

El sistema de aislamiento sísmico debe satisfacer los siguientes criterios:

- a) La rigidez efectiva del sistema de aislamiento sísmico correspondiente al desplazamiento translacional debe ser mayor que 1/3 de la rigidez efectiva, a un 20 % del desplazamiento máximo.

- b) El sistema de aislamiento sísmico debe ser capaz de producir una fuerza de restitución lateral, tal como está especificado en el numeral 9.4 del artículo 9 de la presente Norma Técnica.
- c) El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento sísmico debe ser como mínimo el desplazamiento total máximo, DTM.

2.1.10. Combinaciones de carga

Los promedios mínimo y máximo de la carga vertical aplicada a cada unidad tipo de aislador, deben ser calculados aplicando cargas sísmicas horizontales, debidas al SMC, y a las siguientes combinaciones de cargas:

- a) Carga vertical promedio:

$$1,0 \text{ CM} + 0,5 \text{ CV}$$

- b) Carga vertical máxima:

$$1,25 (\text{CM} + \text{CV}) + 1,0 (\text{CSH} + \text{CSV}) + 0,2 \text{ CN}$$

- c) Carga vertical mínima:

$$0,9 \text{ CM} - 1,0 (\text{CSH} + \text{CSV})$$

Dónde:

CM: Carga muerta.

CV: Carga viva.

CSH: Carga sísmica horizontal.

CSV: Carga sísmica vertical = 0,5 (1,5 ZS) CM.

CN: Carga de nieve.

2.1.11. Módulo de corte del caucho

El compuesto de caucho utilizado en la producción de los aisladores elastoméricos se caracteriza por un módulo de corte efectivo dinámico que varía según el fabricante. Los

compuestos de caucho se caracterizan por una variación del módulo de corte y por el factor de amortiguamiento.

La tabla 5, muestra los valores de del módulo de corte del caucho de los fabricantes más importantes de aisladores a nivel mundial.

Tabla 5

Módulo de corte de los aisladores según los fabricantes

Aisladores	Compuesto	FIP IND	FREYSSINET	TENSA	BRIDGESTONE
Núcleo de plomo	Blando	0.40	0.40	0.40	0.39
	Normal	0.60	0.80	0.90	-
	Duro	1.40	-	1.40	-
Alto amortiguamiento	Blando	0.40	0.40	0.40	0.30
	Normal	0.80	0.80	0.80	0.39
	Duro	1.40	1.15	1.40	0.62
Caucho natural	Blando	-	-	-	0.29
	Blando	-	-	-	0.34
	Normal	-	-	-	0.39
	Duro	-	-	-	0.44

2.1.12. Estimación de pérdidas por sismo - hazus

Curvas de fragilidad estructural.

Las funciones de daño estructural se expresan en términos de un valor equivalente de PGA (en lugar de desplazamiento espectral) para la evaluación de edificios que son componentes de líneas de vida.

La metodología aborda casi todos los aspectos de la construcción entorno y una amplia gama de diferentes tipos de pérdidas.

Las funciones de daño estructural se desarrollan en base a PGA, ya que se considera daño estructural. La medida de daño más adecuada para las instalaciones de línea de vida.

Las incertidumbres son inherentes a cualquier metodología de estimación de pérdidas. Surgen en parte del conocimiento científico incompleto sobre terremotos y sus efectos sobre edificios e instalaciones. También resultan de las aproximaciones y simplificaciones que son necesarias para un análisis exhaustivo. Inventarios incompletos o inexactos del entorno construido, la demografía y los parámetros económicos se suman a la incertidumbre. Estos

factores pueden dar lugar a un rango de incertidumbre en las estimaciones de pérdidas producidas por el Modelo de Terremoto HAZUS.

Tabla 6*Tipos de edificios según su altura*

Clasificación de edificios	Rango de niveles	Altura (m)
Poca altura	1 – 3	3 – 9
Mediana altura	4 – 7	12 – 21
Gran altura	> 8	> 24

2.1.13. Aceleración equivalente del terreno.

Los valores dados en la siguiente tabla son apropiados para su uso en la evaluación de terremotos cuyo espectro de demanda está basado en eventos sísmicos de gran magnitud.

Por supuesto, la distribución geográfica del daño puede verse influenciada notablemente por las condiciones locales del suelo.

En los pocos casos en que el Modelo de Terremoto se ha probado parcialmente usando los inventarios reales de estructuras más los mapas de suelos correctos, han funcionado razonablemente bien.

Tabla 7*Equivalente PGA (g) – Nivel alto del código de diseño sísmico*

Tipo de edificio	Clasificación del edificio	Daño leve	Daño moderado	Daño extenso	Daño completo
Pórticos de concreto	Poca altura	0.21	0.35	0.70	1.37
	Mediana altura	0.15	0.27	0.73	1.61
	Gran altura	0.11	0.22	0.62	1.35
Muros de concreto	Poca altura	0.24	0.45	0.90	1.55
	Mediana altura	0.17	0.36	0.87	1.95
	Gran altura	0.12	0.29	0.82	1.87

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo aplicada, ya que busca la generación de conocimiento directamente aplicado a temas sociales o del sector productivo, basándose fundamentalmente en descubrimientos tecnológicos de investigación, que involucran el proceso de conexión entre teoría y productos. Sánchez et al. (2018, p. 79) mencionaron que, es un tipo de estudio útil que aprovecha los conocimientos conseguidos por el estudio básico para la solución de la problemática inmediata.

Dado que esta investigación sigue un modelo de datos numéricos estructurados predecibles, se construye con un método cuantitativo porque puede usarse como una guía para recopilar y analizar datos. Además de especificar el proceso necesario para obtener los resultados, también se pueden encontrar soluciones a los problemas de investigación planteados. En tal sentido, Hernández et al. (2014) comentaron que, “los métodos cuantitativos utilizan la recopilación de datos basada en la medición numérica y el análisis estadístico para probar hipótesis con el fin de establecer patrones de comportamiento y probar teorías”. (p. 4)

Es descriptivo porque se utiliza para inferir la situación presentada, describiendo todas las dimensiones del objeto a estudiar. Tal es así que, Bernal (2010) señaló que, “una de las principales funciones de la investigación descriptiva es poder seleccionar las características básicas del objeto de investigación y la descripción detallada de la parte, categoría o categoría del objeto”. (p. 113).

Por su parte, Hernández-Sampieri y Mendoza (2019) señalaron que, “la investigación descriptiva transversal tiene como objetivo investigar el nivel o estado de una o más variables en la población en un momento dado”. (p. 177)

Es explicativo causal porque trata de explicar por qué ocurren ciertas situaciones, eventos o fenómenos. En este sentido, este tipo de investigación incluirá la descripción de variables de fenómenos y el análisis de sus relaciones.

Tal como lo corroboran Hernández-Sampieri et al. (2019) la investigación explicativa va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos. Es decir, están diseñados para tratar las causas de eventos y fenómenos físicos o sociales. Como sugiere el nombre, su interés se centra en explicar por qué ocurre el fenómeno y en qué condiciones se relacionan el fenómeno o dos o más variables. (pp. 110-113)

El diseño de este estudio es no experimental, porque su implementación no afecta las variables a estudiar, porque se enfoca en describir y analizar el problema de investigación. Al respecto, Hernández et al. (2014) mencionaron que, “la investigación no experimental se realiza sin manipulación deliberada de variables. En otras palabras, en estos estudios, no cambiamos deliberadamente la variable independiente para ver su impacto en otras variables”. (p. 152)

Es transversal, porque es un proceso de investigación y no hay continuidad en el eje del tiempo. Puede estudiar a toda la población, pero en esencia, es una muestra representativa estudiada en un momento y lugar específicos. Para, Hernández-Sampieri y Mendoza (2019) los diseños transversales recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. (p. 176)

3.2. Población y muestra

3.2.1. *Población*

La población estuvo determinada por 1440 edificaciones dividido en dos grupos según la zona sísmica (Z4 y Z3), cada uno con dos subgrupos (flexibles y rígidos), para cada subgrupo se efectuarán variaciones de sobrecarga; variando las edificaciones desde un nivel hasta 20 niveles. La unidad de análisis son los tres tipos de aisladores elastoméricos.

3.2.2. Muestra

La muestra se obtuvo por un proceso probabilístico y se analizaron 480 edificaciones para el grupo de suelo firme, 480 edificaciones para el grupo de suelo intermedio y 480 edificaciones para el grupo de suelo blando. Total: 1440 edificaciones.

3.3. Operacionalización de las variables

Tabla 8
Operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Eficiencia de aisladores elastoméricos	Se concibió e instaló un aislador sísmico para que el movimiento horizontal de la cimentación causado por el terremoto no se transmitiera a la estructura.	Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (caucho natural)	Amortiguamiento entre el 2% y 3% Relación lineal entre la Fuerza cortante y la deformación	Nominal
	Generalmente, los aisladores no están diseñados para aislar el movimiento vertical, esto se debe a dos razones: Primero, la vibración vertical generada por un terremoto suele ser menor que la vibración horizontal. La segunda razón es que debido a que la estructura debe soportar cargas de gravedad, su diseño tiene alta rigidez y capacidad para resistir cargas verticales (Genatios Y Lafuente, 2016)	Aislador elastomérico con núcleo de plomo	Números ciclos histeréticos estables Resistencia a la fatiga	Nominal
		Aislador elastomérico de caucho con alto amortiguamiento	Amortiguamiento entre 15% y 35% Formación de bucle que encierra un área menor a los de bajo amortiguamiento	Nominal
			Amortiguamiento entre 10% y 20%	

3.4. Instrumentos

Se utilizarán los siguientes instrumentos para la obtención de datos:

- Análisis de documentos: Analizar bibliografías profesionales existentes de aisladores sísmicos en diversas instituciones y bibliotecas especiales.
- Internet: La aplicación empírica de la tecnología de la información en la investigación del rendimiento de aisladores sísmicos.

- Observación: A través de imágenes y videos, se comprende las características y características de los aisladores.
- Hojas de cálculo: Los programas tipo hoja de cálculo permiten realizar cálculos con números, desde simples operaciones de suma hasta cálculos matemáticos mucho más complejos, que son de gran utilidad.

3.5. Procedimiento

La aceleración sísmica espectral registrada por el terremoto se aplicará a muestras de edificaciones seleccionadas en la población según el tipo de suelo, y se aplicarán de forma independiente varios valores de módulo de cizallamiento. El índice de aceleración sísmica está relacionado con variables. A continuación, se cruzarán las variables del aislador hipotético para determinar el comportamiento de la relación.

Una vez obtenidos los resultados, los datos serán criticados para asegurar su confiabilidad, estos datos serán organizados y procesados construyendo una tabla de frecuencias para que de ella se pueda derivar una tabla estadística. De esta forma, facilitará el análisis o interpretación de datos y resultados.

Parámetros sísmicos

3.5.1. Pseudo aceleraciones

El espectro de diseño se debe obtener mediante un estudio de sitio o empleando las indicaciones de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Donde Z, U y S son los parámetros definidos en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Para estructuras aisladas, el factor U es en todos los casos igual a 1.

Cuando el espectro de diseño se obtenga aplicando los perfiles del suelo de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, se debe verificar que el periodo fundamental del estrato T_s , obtenido mediante ensayos de micro trepidación corresponda con lo indicado en la Tabla N° 4 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

Para períodos Ts mayores que 0,6 segundos es obligatorio efectuar un estudio de sitio.

Sólo cuando los estudios de micro trepidación confirmen el periodo del estrato, el espectro elástico de pseudo aceleraciones, correspondiente al sismo máximo considerado (SMC), se determina como:

$$S_{aM} = 1.5 ZUSC \ g \quad (\text{Ec. 5 -NTE E.031})$$

3.5.2. Zona sísmica

La aceleración máxima horizontal considerada corresponde a un suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, ubicada en la zona de mayor sismicidad según la información neotectónica indicada en el mapa de zonas sísmicas de la Norma Técnica vigente E.030 Diseño Sismorresistente del 07 de diciembre del 2018.

Figura 4
Zonas Sísmicas – E.030 Diseño Sismorresistente.



Tabla 9
Fracción de la aceleración de la gravedad

Factor de Zona	Estructuras ubicadas en una parte del Dpto. de Lima, Ica, Tacna, etc.	Zona 4	Z=0.45
Factor de Zona	Estructuras ubicadas en una parte del Dpto. de Ayacucho, Cuzco, Arequipa, etc.	Zona 3	Z=0.35

3.5.3. Factor de suelo

Se ha considerado los tipos de perfiles que mejor describen las condiciones locales, utilizando los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL dados en las Tablas 10.

Tabla 10
Perfiles de Suelo – E030 – 2018

Perfil de suelo	Factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL
Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos	S=1.00 TP=0.40seg. TL=2.50seg.
Tipo S2: Suelos Intermedios	S=1.05 TP=0.60seg. TL=2.00seg.
Tipo S3: Suelos Blandos	S=1.10 TP=1.00seg. TL=1.60seg.

3.5.4. Espectros elásticos considerados

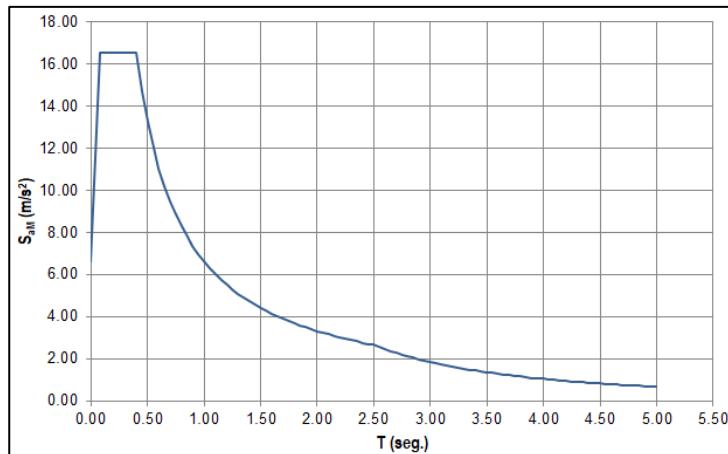
Para la obtención de los espectros de la Norma E.030, el comité consideró un total de 06 registros sísmicos peruanos.

Tabla 11
Relación de registros sísmicos

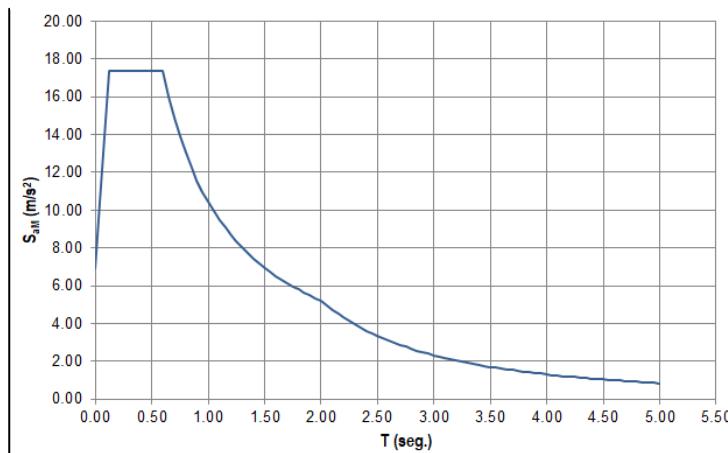
COD	Fecha	Denominación	Componente	DATA Puntos	Duración Segundos	PGA cm/seg ²	PGA g	PGV cm/seg	PGD cm	Nota
7035	17-Oct-66	N82W	HORIZONTAL	3283	65.66	-180.59	0.18	13.23	7.35	NTE 030
7036	17-Oct-66	NO8E	HORIZONTAL	3282	65.64	-269.34	0.27	-21.60	-16.60	NTE 030
7038	31-May-70	N82W	HORIZONTAL	2259	45.18	-104.82	0.11	4.71	1.55	NTE 030
7039	31-May-70	NO8E	HORIZONTAL	2259	45.18	-97.75	0.10	6.98	2.64	NTE 030
7050	03-Oct-74	1421 GCT NO8E	HORIZONTAL	4899	97.98	178.95	0.18	10.30	-5.34	NTE 030
7051	03-Oct-74	1421 GCT N82W	HORIZONTAL	4899	97.98	-192.49	0.20	14.48	6.41	NTE 030

Figura 5

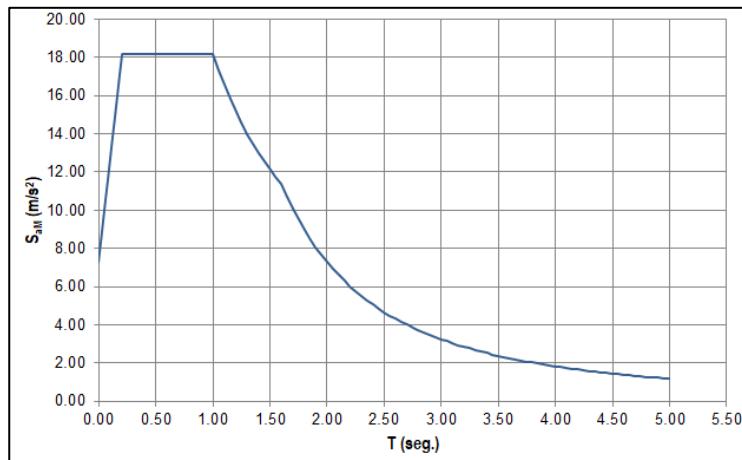
Pseudoaceleraciones con $\xi=5\%$ en suelo S1: suelo muy rígido

**Figura 6**

Pseudoaceleraciones con $\xi=5\%$ en suelo S2: suelo intermedio

**Figura 7**

Pseudoaceleraciones con $\xi=5\%$ en suelo S3: suelo blando



Características de los edificios

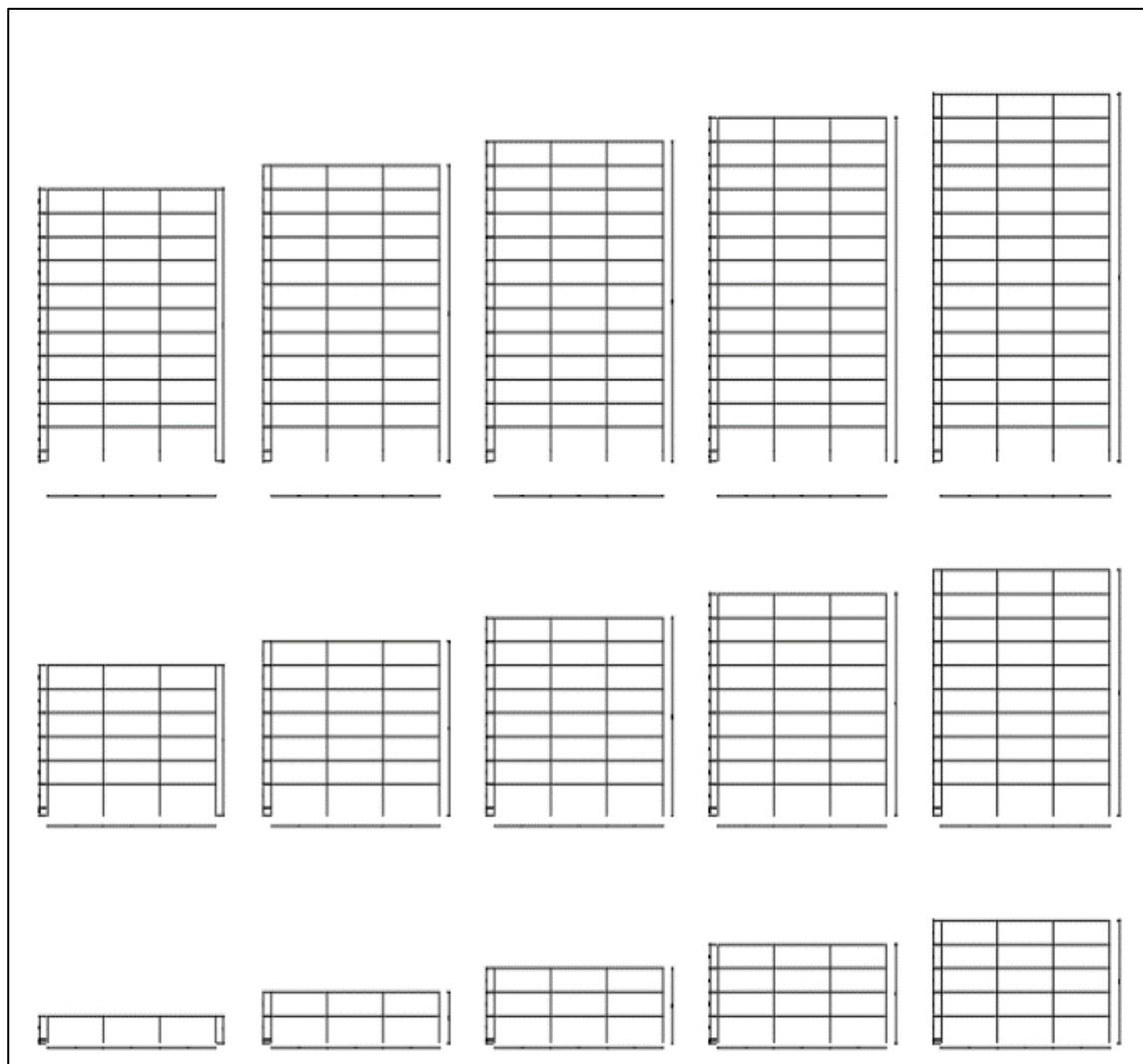
3.5.5. Números de pisos

Se ha considerado para los entrepisos una altura libre de 2.80 m., con una viga de peralte 0.70 m., resultando una altura de entrepiso de 3.50 m.

Para la determinación de los valores de la respuesta de los aisladores, se han propuesto 20 edificaciones, desde 01 nivel hasta los 20 niveles, según Figura 8:

Figura 8

Vistas de los modelos de las edificaciones.



3.5.6. Período fundamental de vibración

La Norma técnica E.30 de Diseño Sismorresistente indica que el período fundamental de vibración para cada dirección se estima con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Dónde:

$C_T = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente pórticos de concreto armado sin muros de corte.

$C_T = 60$ Para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

Tabla 12
Periodos de las edificaciones consideradas

Numero 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

3.5.7. Estimación del Peso

El concreto armado tiene un peso específico de 2400 kg/m^3 . Se ha considerado un grupo de edificios con una sobrecarga para hoteles de 200 kg/m^2 , y el otro con una sobrecarga para hospitales de 300 kg/m^2 .

3.5.8. Metrado de carga muerta por nivel

Tabla 13

Metrado de carga muerta - aislador central

Descripción	# Pisos	Área (m ²)	Peso (t/m ²)	Peso (t)	
Peso Acabado	1	6.00 x 6.00	0.100	3.600	
Peso Tabiquería	1	6.00 x 6.00	0.150	5.400	
Peso de Losa	1	5.70 x 5.70	0.480	15.595	
Descripción	Cantidad	Sección (m)	Longitud (m)	Peso (t/m ³)	Peso (t)
Vigas en dirección X	1	0.30 x 0.60	5.20	2.40	2.246
Vigas en dirección Y	1	0.30 x 0.60	5.20	2.40	2.246
Columna	1	0.80 x 0.80	3.50	2.40	5.376
Capitel	1	0.80 x 0.80	0.60	2.40	0.921
Carga Muerta				25.46 t	Superestructura
				30.00 t	Nivel de base

3.5.9. Metrado de carga viva por nivel

Tabla 14

Metrado de carga viva - aislador central

Descripción	# Pisos	Área (m ²)	Peso (t/m ²)	Peso	(t)
Sobrecarga hoteles	1	6.00 x 6.00	0.200		7.200
Sobrecarga hospitales	1	6.00 x 6.00	0.300		10.800
Sobrecarga azotea	1	6.00 x 6.00	0.100		3.600
Carga Viva Hoteles			3.60 t	Superestructura	
			7.20 t	Nivel de base	
Carga Viva Hospitales			3.60 t	Superestructura	
			10.80 t	Nivel de base	

El peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determina de la siguiente manera:

- En edificaciones de las categorías A, se toma el 50% de la carga viva.
- En edificaciones de la categoría C, se toma el 25% de la carga viva.

Tabla 15*Peso de las edificaciones por niveles – aislador central*

Número de pisos	Carga Muerta (t)	Carga viva		Carga vertical promedio	
		Hoteles (t)	Hospitales (t)	Hoteles (t)	Hospitales (t)
1	55.46	10.80	14.40	60.86	62.66
2	80.92	18.00	25.20	89.92	93.52
3	106.38	25.20	36.00	118.98	124.38
4	131.84	32.40	46.80	148.04	155.24
5	157.30	39.60	57.60	177.10	186.10
6	182.76	46.80	68.40	206.16	216.96
7	208.22	54.00	79.20	235.22	247.82
8	233.68	61.20	90.00	264.28	278.68
9	259.14	68.40	100.80	293.34	309.54
10	284.60	75.60	111.60	322.40	340.40
11	310.06	82.80	122.40	351.46	371.26
12	335.52	90.00	133.20	380.52	402.12
13	360.98	97.20	144.00	409.58	432.98
14	386.44	104.40	154.80	438.64	463.84
15	411.90	111.60	165.60	467.70	494.70
16	437.36	118.80	176.40	496.76	525.56
17	462.82	126.00	187.20	525.82	556.42
18	488.28	133.20	198.00	554.88	587.28
19	513.74	140.40	208.80	583.94	618.14
20	539.20	147.60	219.60	613.00	649.00

Carga sísmica

3.5.10. Carga sísmica horizontal.

El espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo considerado (SMC), se determina empleando la ecuación 5 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico. Donde Z, U y S son los parámetros definidos en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente:

$$S_{aM} = 1.5 ZUSC g \quad (\text{Ec. 5 –NTE E.031})$$

$$T_P < T < T_L \rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T} \right) \quad (\text{NTE E.031})$$

Tabla 16*Carga sísmica horizontal - aislador central*

Descripción	ZU (g)	S1/Tp	S2/Tp	S3/Tp	C	P (t/piso)
Hoteles	0.45	1.00/0.40	1.05/0.60	1.10/1.00	variable	60.86
Hospitales	0.45	1.00/0.40	1.05/0.60	1.10/1.00	variable	62.66
CSH Hoteles						41.08 C
CSH Hospitales						42.30 C

3.5.11. Carga sísmica vertical.

Cada unidad tipo de aislador debe ser diseñado utilizando las cargas sísmicas verticales debidas SMC, y calculadas según el artículo 12 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico:

$$CSV = 0.5 (1.5 ZS) CM \quad (\text{Art. 12 -NTE E.031})$$

Tabla 17*Carga sísmica vertical – aislador central*

Descripción	Z (g)	CM (t/piso)	S1	S2	S3
Hoteles	0.45	55.46	variable	variable	variable
Hospitales	0.45	55.46	variable	variable	variable
CSH Hoteles					18.71 S
CSH Hospitales					18.71 S

Cargas verticales

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 Aislamiento Sísmico:

Carga vertical promedio

$$CVProm = 1.0 \text{ CM} + 0.5 \text{ CV} \quad (\text{Art. 12 -NTE E.031})$$

Donde:

CM : Carga Muerta

CV : Carga Viva

Carga vertical máxima

$$CVMax = 1.25 (CM + CV) + 1.0(CSH + CSV) \quad (\text{Art. 12 -NTE E.031})$$

Donde:

CM : Carga Muerta

CV : Carga Viva

CSH : Carga Sísmica Horizontal

CSV : Carga Sísmica Vertical

Carga vertical mínima

$$CVMin = 0.90 \text{ CM} - 1.0(CSH + CSV) \quad (\text{Art. 12 -NTE E.031})$$

CM : Carga Muerta

CV : Carga Viva

CSH : Carga Sísmica Horizontal

CSV : Carga Sísmica Vertical

3.5.12. Características de los aisladores

Tabla 18

Módulo de corte de los aisladores (N/mm²)

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

Tabla 19
Dimensiones de los aisladores (mm)

ZONA SISMICA		ZONA 4							
TIPO SUELO	SUELO FIRME - S1	SUELO INTERMEDIO - S2				SUELO BLANDO - S3			
Niveles de Entrepiso	Diámetro Exterior	Espesor Caucho	Diámetro Plomo	Diámetro Exterior	Espesor Caucho	Diámetro Plomo	Diámetro Exterior	Espesor Caucho	Diámetro Plomo
1	600	162	80	700	167	100	900	170	130
2	700	167	100	800	168	120	1000	180	150
3	800	168	120	900	170	130	1100	180	170
4	800	168	120	1000	180	150	1200	200	180
5	800	168	120	1000	180	150	1300	220	200
6	800	168	120	1100	180	170	1400	240	210
7	800	168	120	1100	180	170	1400	240	210
8	900	170	130	1100	180	170	1500	250	230
9	900	170	130	1200	200	180	1500	250	230
10	900	170	130	1200	200	180	1600	300	250
11	900	170	130	1300	220	200	1600	300	250
12	900	170	130	1300	220	200	1600	300	250
13	1000	180	150	1300	220	200	1600	300	250
14	1000	180	150	1300	220	200	1700	320	280
15	1000	180	150	1300	220	200	1700	320	280
16	1000	180	150	1300	220	200	1700	320	280
17	1000	180	150	1300	220	200	1700	320	280
18	1100	180	170	1300	220	200	1700	320	280
19	1100	180	170	1300	220	200	1800	320	300
20	1100	180	170	1300	220	200	1800	320	300

ZONA 3									
SUELO FIRME - S1			SUELO INTERMEDIO - S2			SUELO BLANDO - S3			
Diámetro Exterior	Espesor Caucho	Diámetro Plomo	Diámetro Exterior	Espesor Caucho	Diámetro Plomo	Diámetro Exterior	Espesor Caucho	Diámetro Plomo	
600	162	80	700	167	100	900	170	130	
700	167	100	800	168	120	1000	180	150	
800	168	120	900	170	130	1100	180	170	
800	168	120	900	170	130	1200	200	180	
800	168	120	900	170	130	1300	220	200	
800	168	120	900	170	130	1400	240	210	

800	168	120	900	170	130	1400	240	210
800	168	120	900	170	130	1500	250	230
800	168	120	900	170	130	1500	250	230
800	168	120	900	170	130	1600	300	250
800	168	120	900	170	130	1600	300	250
800	168	120	900	170	130	1600	300	250
800	168	120	900	170	130	1600	300	250
800	168	120	1000	180	150	1700	320	280
800	168	120	1000	180	150	1700	320	280
900	170	130	1000	180	150	1700	320	280
900	170	130	1000	180	150	1700	320	280
900	170	130	1000	180	150	1700	320	280
900	170	130	1000	180	150	1800	320	300
900	170	130	1000	180	150	1800	320	300

3.5.13. Resumen

Tabla 20
Resumen de edificios de diferentes niveles

DESCRIPCION	VARIABLES			TOTAL
Modelos	Edificios de diferentes niveles			20
Zonas sísmicas	Z4			40
Perfil de suelo	S1	S2	S3	120
Sistema	Pórticos			240
Sobrecarga	Hoteles			480
Aisladores	LRB	HDRB	NRB	1440
Módulo de corte	Inferior	Intermedio	Superior	4320

3.6. Análisis de datos

Una vez que se completa la fase de recopilación y procesamiento de datos, comienza el análisis de datos. El análisis de datos es un precedente para las actividades de interpretación. La explicación se basa en los resultados de esta investigación. Esta actividad implica establecer inferencias sobre la relación entre las variables estudiadas para sacar conclusiones y recomendaciones. La interpretación se realizará en cinco etapas:

- Explicar la relación entre las variables y los datos que las sustentan en base a un cierto grado de significación estadística.

- Establecer un significado de investigación más amplio, es decir, determinar el grado de generalización de los resultados de la investigación.
- El diseño de la tabla estadística permite la aplicación de técnicas analíticas que facilitan este proceso. Se utilizará lógica inductiva y deductiva para expresar claramente los resultados del análisis.
- Los resultados basados en datos de muestra deben aproximarse al valor real de la población. Para ello, se necesitan una serie de técnicas estadísticas.
- Una tabla diseñada para el análisis de datos se incluye en el informe final y se puede utilizar para analizar una o más variables.

IV. RESULTADOS

4.1. Aisladores de núcleo de plomo

Tabla 21

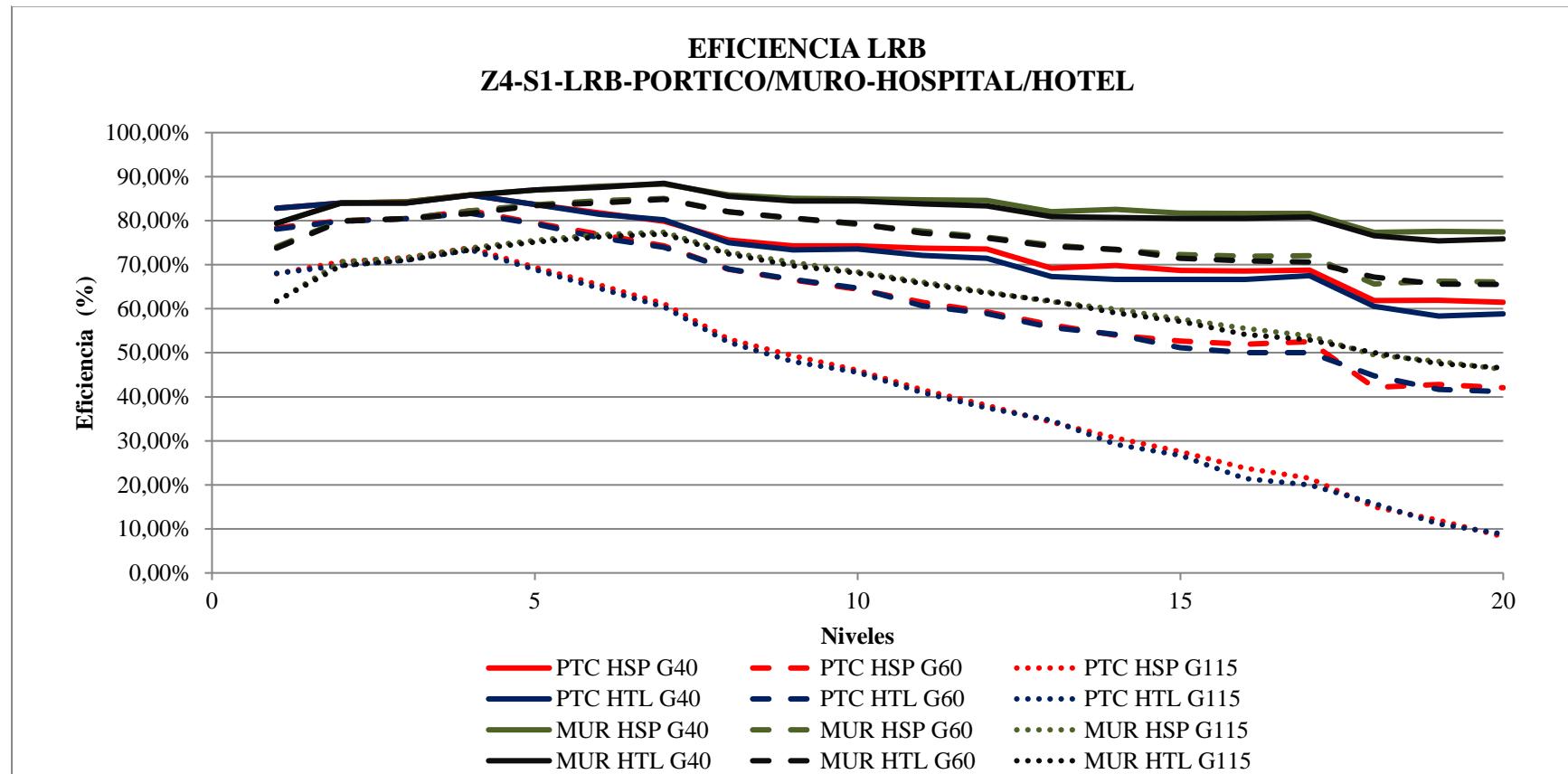
Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1)

NIVELES DE ENTREPISO	Z4 S1											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL			HOTEL			HOSPITAL			HOTEL		
	LRB 40	LRB 60	LRB 115									
1	82.84%	78.40%	67.99%	82.84%	78.11%	68.05%	79.43%	74.11%	61.63%	79.43%	73.76%	61.70%
2	84.02%	80.00%	70.65%	84.02%	79.88%	69.82%	84.02%	80.00%	70.65%	84.02%	79.88%	69.82%
3	84.26%	80.47%	71.60%	84.02%	80.47%	71.01%	84.26%	80.47%	71.60%	84.02%	80.47%	71.01%
4	85.86%	82.25%	73.85%	85.80%	81.66%	73.37%	85.86%	82.25%	73.85%	85.80%	81.66%	73.37%
5	83.70%	79.48%	69.41%	83.70%	79.26%	68.89%	86.98%	83.61%	75.56%	86.98%	83.43%	75.15%
6	81.77%	76.90%	65.40%	81.42%	76.11%	64.60%	87.81%	84.56%	76.86%	87.57%	84.02%	76.33%
7	79.90%	74.27%	61.15%	80.21%	73.96%	60.42%	88.30%	85.03%	77.39%	88.48%	84.85%	76.97%
8	75.60%	68.93%	53.10%	75.00%	69.05%	52.38%	85.86%	82.00%	72.83%	85.52%	82.07%	72.41%
9	74.27%	66.53%	49.33%	73.33%	66.67%	48.00%	85.04%	80.54%	70.54%	84.50%	80.62%	69.77%
10	74.26%	64.41%	46.03%	73.53%	64.71%	45.59%	84.91%	79.14%	68.36%	84.48%	79.31%	68.10%
11	73.77%	61.48%	41.64%	72.13%	60.66%	40.98%	84.76%	77.62%	66.10%	83.81%	77.14%	65.71%
12	73.57%	59.29%	38.04%	71.43%	58.93%	37.50%	84.58%	76.25%	63.85%	83.33%	76.04%	63.54%
13	69.23%	56.35%	34.23%	67.31%	55.77%	34.62%	82.02%	74.49%	61.57%	80.90%	74.16%	61.80%
14	69.79%	53.96%	30.63%	66.67%	54.17%	29.17%	82.53%	73.37%	59.88%	80.72%	73.49%	59.04%
15	68.67%	52.67%	27.56%	66.67%	51.11%	26.67%	81.69%	72.34%	57.66%	80.52%	71.43%	57.14%
16	68.57%	51.90%	23.81%	66.67%	50.00%	21.43%	81.67%	71.94%	55.56%	80.56%	70.83%	54.17%
17	68.75%	52.50%	21.50%	67.50%	50.00%	20.00%	81.62%	72.06%	53.82%	80.88%	70.59%	52.94%
18	61.84%	42.11%	15.00%	60.53%	44.74%	15.79%	77.34%	65.63%	49.53%	76.56%	67.19%	50.00%
19	61.94%	42.78%	11.94%	58.33%	41.67%	11.11%	77.54%	66.23%	48.03%	75.41%	65.57%	47.54%
20	61.47%	42.06%	8.24%	58.82%	41.18%	8.82%	77.41%	66.03%	46.21%	75.86%	65.52%	46.55%

Se aprecia en la siguiente tabla 21, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4, en un suelo tipo S1 (suelo muy rígido con aceleraciones entre 500m/s y 1500m/s), considerando 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.

Figura 9

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



En la figura 9, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 21, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S1, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G60, G115. 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.

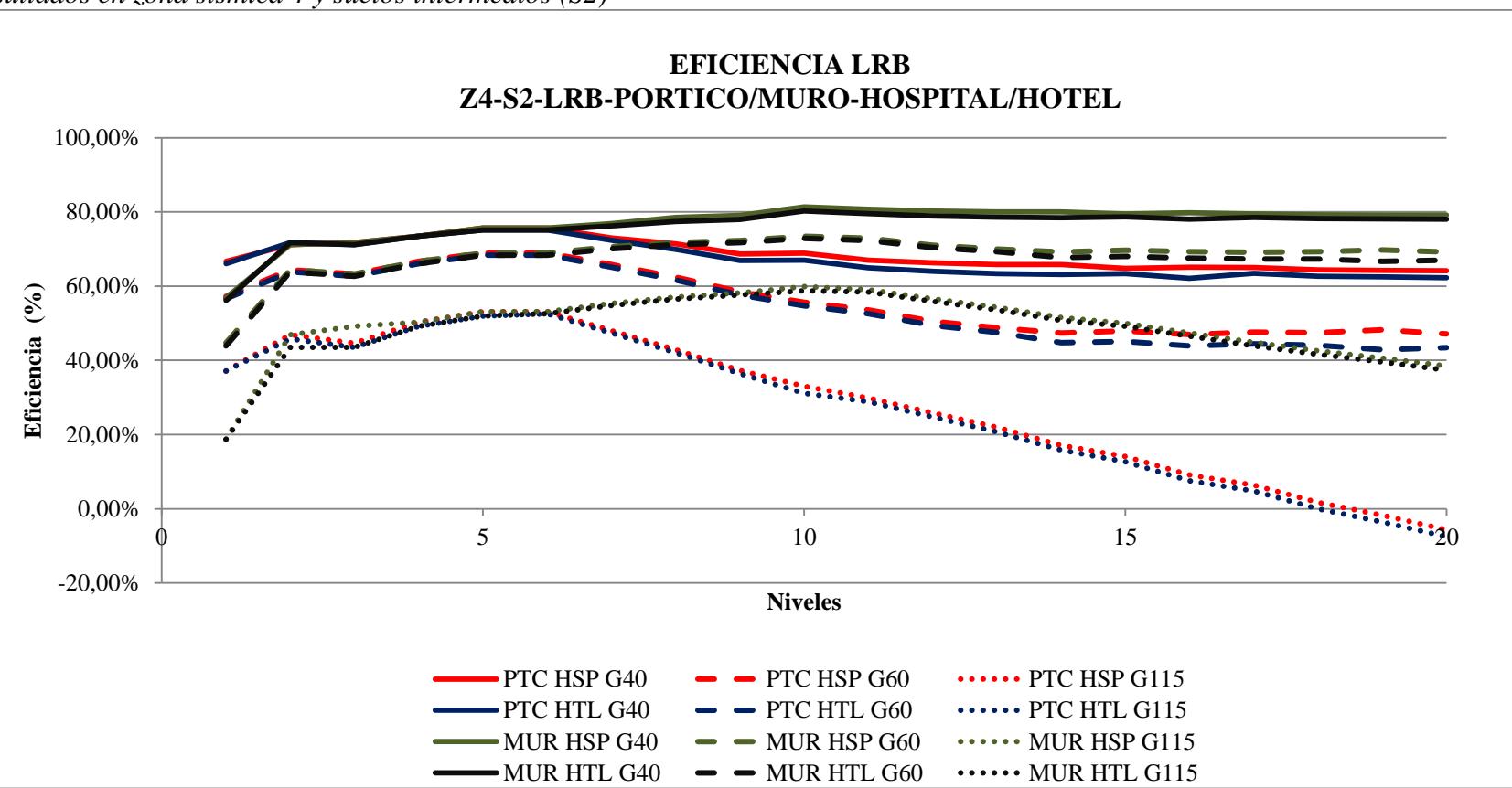
Tabla 22*Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z4 S2											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL			HOTEL			HOSPITAL			HOTEL		
	LRB 40	LRB 60	LRB 115									
1	66.67%	57.23%	37.11%	66.04%	56.60%	37.11%	56.91%	44.72%	18.70%	56.10%	43.90%	18.70%
2	71.19%	64.41%	46.89%	71.75%	63.84%	45.76%	71.19%	64.41%	46.89%	71.75%	63.84%	43.50%
3	71.75%	63.28%	44.63%	71.19%	62.71%	43.50%	71.75%	63.28%	49.15%	71.19%	62.71%	43.50%
4	73.45%	66.67%	50.28%	73.45%	66.10%	49.15%	73.45%	66.67%	50.28%	73.45%	66.10%	49.15%
5	75.71%	68.93%	53.11%	75.14%	68.36%	51.98%	75.71%	68.93%	53.11%	75.14%	68.36%	51.98%
6	75.71%	68.93%	53.11%	75.14%	68.36%	52.54%	75.71%	68.93%	53.11%	75.14%	68.36%	52.54%
7	73.03%	65.79%	48.03%	72.37%	65.13%	47.37%	76.84%	70.62%	55.37%	76.27%	70.06%	54.80%
8	71.43%	62.41%	42.86%	69.92%	61.65%	42.11%	78.53%	71.75%	57.06%	77.40%	71.19%	56.50%
9	68.64%	58.47%	37.29%	66.95%	57.63%	36.44%	79.10%	72.32%	58.19%	77.97%	71.75%	57.63%
10	68.87%	55.66%	33.02%	66.98%	54.72%	31.13%	81.36%	73.45%	59.89%	80.23%	72.88%	58.76%
11	67.01%	53.61%	29.90%	64.95%	52.58%	28.87%	80.72%	72.89%	59.04%	79.52%	72.29%	58.43%
12	66.29%	50.56%	25.84%	64.04%	49.44%	24.72%	80.26%	71.05%	56.58%	78.95%	70.39%	55.92%
13	65.85%	48.78%	21.95%	63.41%	47.56%	20.73%	80.00%	70.00%	54.29%	78.57%	69.29%	53.57%
14	65.79%	47.37%	17.11%	63.16%	44.74%	15.79%	80.00%	69.23%	51.54%	78.46%	67.69%	50.77%
15	64.79%	47.89%	14.08%	63.38%	45.07%	12.68%	79.51%	69.67%	50.00%	78.69%	68.03%	49.18%
16	65.15%	46.97%	9.09%	62.12%	43.94%	7.58%	79.82%	69.30%	47.37%	78.07%	67.54%	46.49%
17	65.08%	47.62%	6.35%	63.49%	44.44%	4.76%	79.44%	69.16%	44.86%	78.50%	67.29%	43.93%
18	64.41%	47.46%	1.69%	62.71%	44.07%	0.00%	79.21%	69.31%	42.57%	78.22%	67.33%	41.58%
19	64.29%	48.21%	-1.79%	62.50%	42.86%	-3.57%	79.17%	69.79%	40.63%	78.13%	66.67%	39.58%
20	64.15%	47.17%	-5.66%	62.26%	43.40%	-7.55%	79.12%	69.23%	38.46%	78.02%	67.03%	37.36%

Se aprecia en la siguiente tabla 22, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4, en un suelo tipo S2 (suelo intermedio con aceleraciones entre 180m/s y 500m/s).

Figura 10

Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)



En la figura 10, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 22, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S2, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G60, G115. 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).

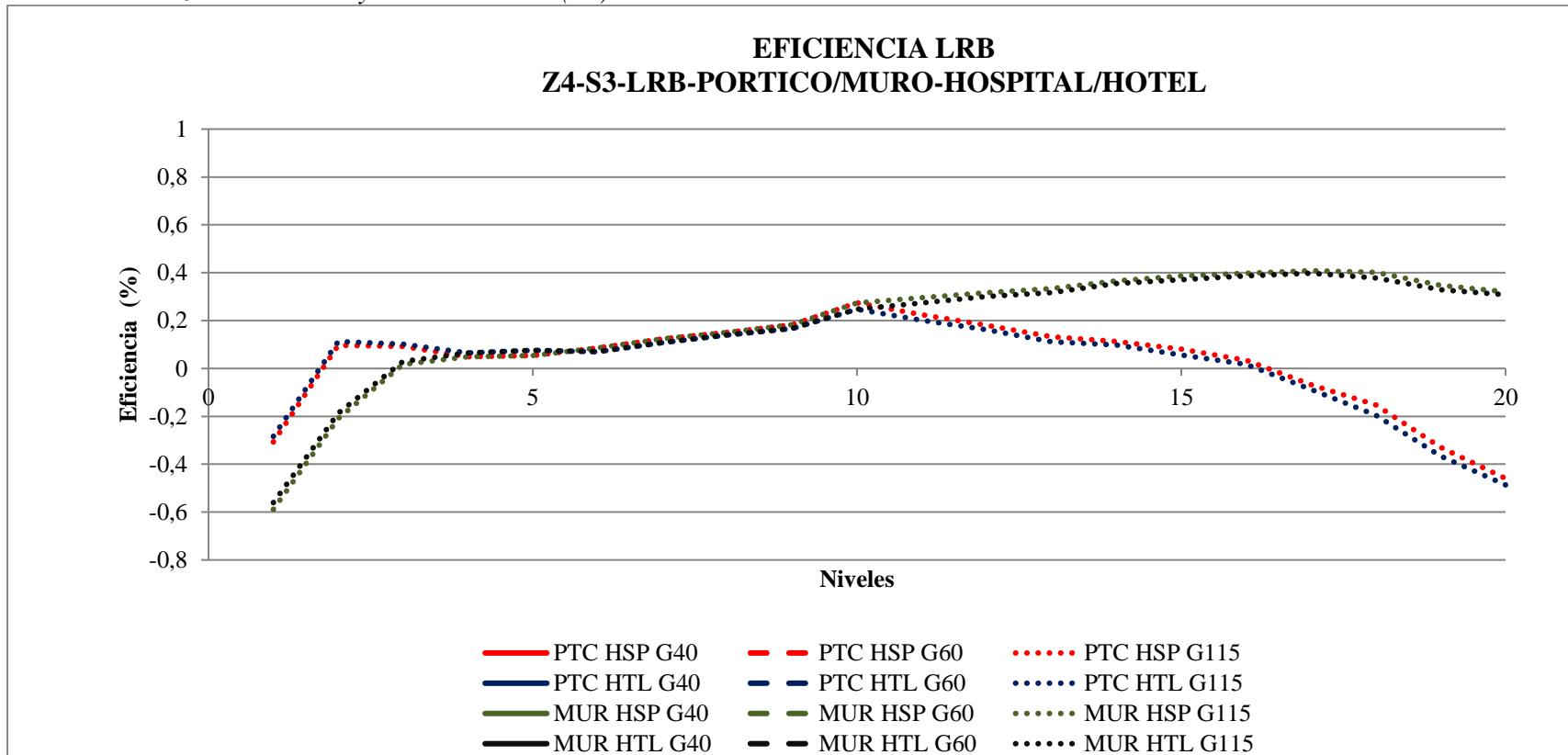
Tabla 23*Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z4 S3											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL		HOTEL		HOTEL	
	LRB 40	LRB 60	LRB 115									
1			-30.77%			-28.46%			-58.88%			-56.07%
2			9.68%			11.29%			-20.86%			-18.71%
3			9.14%			10.22%			1.74%			2.91%
4			4.84%			6.45%			4.84%			6.45%
5			5.38%			7.53%			5.38%			7.53%
6			8.60%			6.99%			8.60%			6.99%
7			12.37%			10.75%			12.37%			10.75%
8			15.05%			13.98%			15.05%			13.98%
9			18.28%			16.67%			18.28%			16.67%
10			27.42%			24.73%			27.42%			24.73%
11			22.49%			20.12%			29.57%			27.42%
12			18.06%			16.13%			31.72%			30.11%
13			13.29%			11.19%			33.33%			31.72%
14			11.28%			9.77%			36.56%			35.48%
15			8.06%			5.65%			38.71%			37.10%
16			3.45%			1.72%			39.78%			38.71%
17			-6.80%			-8.74%			40.86%			39.78%
18			-15.22%			-19.57%			40.11%			37.85%
19			-32.93%			-36.59%			34.73%			32.93%
20			-45.95%			-48.65%			32.08%			30.82%

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4, en un suelo tipo S3 (suelo blando con aceleraciones menores a 180m/s), como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es bajo, debido que el componente del suelo tipo S3, corresponde arena fina o gravas arenosas teniendo menos velocidad de propagación de ondas sísmicas ocasionando mayor aceleración sísmica.

Tabla 24

Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)



En la figura 11, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 23, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S3, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G60, G115, 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.

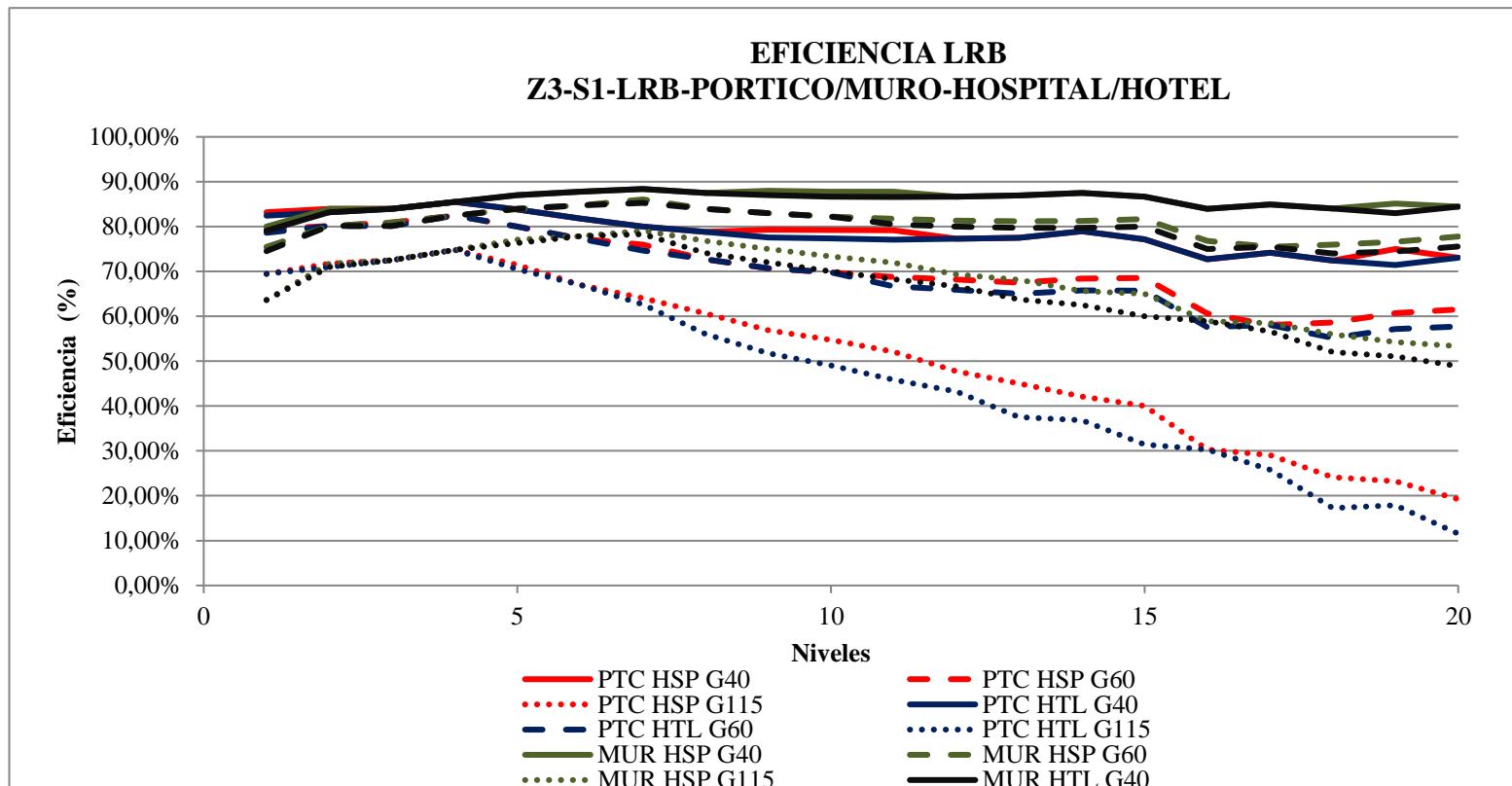
Tabla 25*Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z3 S1											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL			HOTEL			HOSPITAL			HOTEL		
	LRB 40	LRB 60	LRB 115									
1	83.21%	79.39%	69.47%	82.44%	78.63%	69.47%	80.00%	75.45%	63.64%	79.09%	74.55%	63.64%
2	83.97%	80.15%	71.76%	83.21%	80.15%	70.99%	83.97%	80.15%	71.76%	83.21%	80.15%	70.99%
3	83.97%	80.92%	72.52%	83.97%	80.15%	72.52%	83.97%	80.92%	72.52%	83.97%	80.15%	72.52%
4	85.50%	82.44%	74.81%	85.50%	82.44%	74.81%	85.50%	82.44%	74.81%	85.50%	82.44%	74.81%
5	83.81%	80.00%	71.43%	83.81%	80.00%	70.48%	87.02%	83.97%	77.10%	87.02%	83.97%	76.34%
6	81.82%	77.27%	67.05%	81.82%	77.27%	67.05%	87.79%	84.73%	77.86%	87.79%	84.73%	77.86%
7	80.00%	76.00%	64.00%	80.00%	74.67%	62.67%	88.37%	86.05%	79.07%	88.37%	85.27%	78.29%
8	78.79%	72.73%	60.61%	78.79%	72.73%	56.06%	87.50%	83.93%	76.79%	87.50%	83.93%	74.11%
9	79.31%	70.69%	56.90%	77.59%	70.69%	51.72%	88.00%	83.00%	75.00%	87.00%	83.00%	72.00%
10	79.25%	69.81%	54.72%	77.36%	69.81%	49.06%	87.78%	82.22%	73.33%	86.67%	82.22%	70.00%
11	79.17%	68.75%	52.08%	77.08%	66.67%	45.83%	87.80%	81.71%	71.95%	86.59%	80.49%	68.29%
12	77.27%	68.18%	47.73%	77.27%	65.91%	43.18%	86.67%	81.33%	69.33%	86.67%	80.00%	66.67%
13	77.50%	67.50%	45.00%	77.50%	65.00%	37.50%	86.96%	81.16%	68.12%	86.96%	79.71%	63.77%
14	78.95%	68.42%	42.11%	78.95%	65.79%	36.84%	87.50%	81.25%	65.63%	87.50%	79.69%	62.50%
15	77.14%	68.57%	40.00%	77.14%	65.71%	31.43%	86.67%	81.67%	65.00%	86.67%	80.00%	60.00%
16	72.73%	60.61%	30.30%	72.73%	57.58%	30.30%	83.93%	76.79%	58.93%	83.93%	75.00%	58.93%
17	74.19%	58.06%	29.03%	74.19%	58.06%	25.81%	84.91%	75.47%	58.49%	84.91%	75.47%	56.60%
18	72.41%	58.62%	24.14%	72.41%	55.17%	17.24%	84.00%	76.00%	56.00%	84.00%	74.00%	52.00%
19	75.00%	60.71%	23.21%	71.43%	57.14%	17.86%	85.11%	76.60%	54.26%	82.98%	74.47%	51.06%
20	73.08%	61.54%	19.23%	73.08%	57.69%	11.54%	84.44%	77.78%	53.33%	84.44%	75.56%	48.89%

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3, en un suelo tipo S1 (suelo muy rígido con aceleraciones entre 500m/s a 1500 m/s), como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es muy alto, 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 11

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



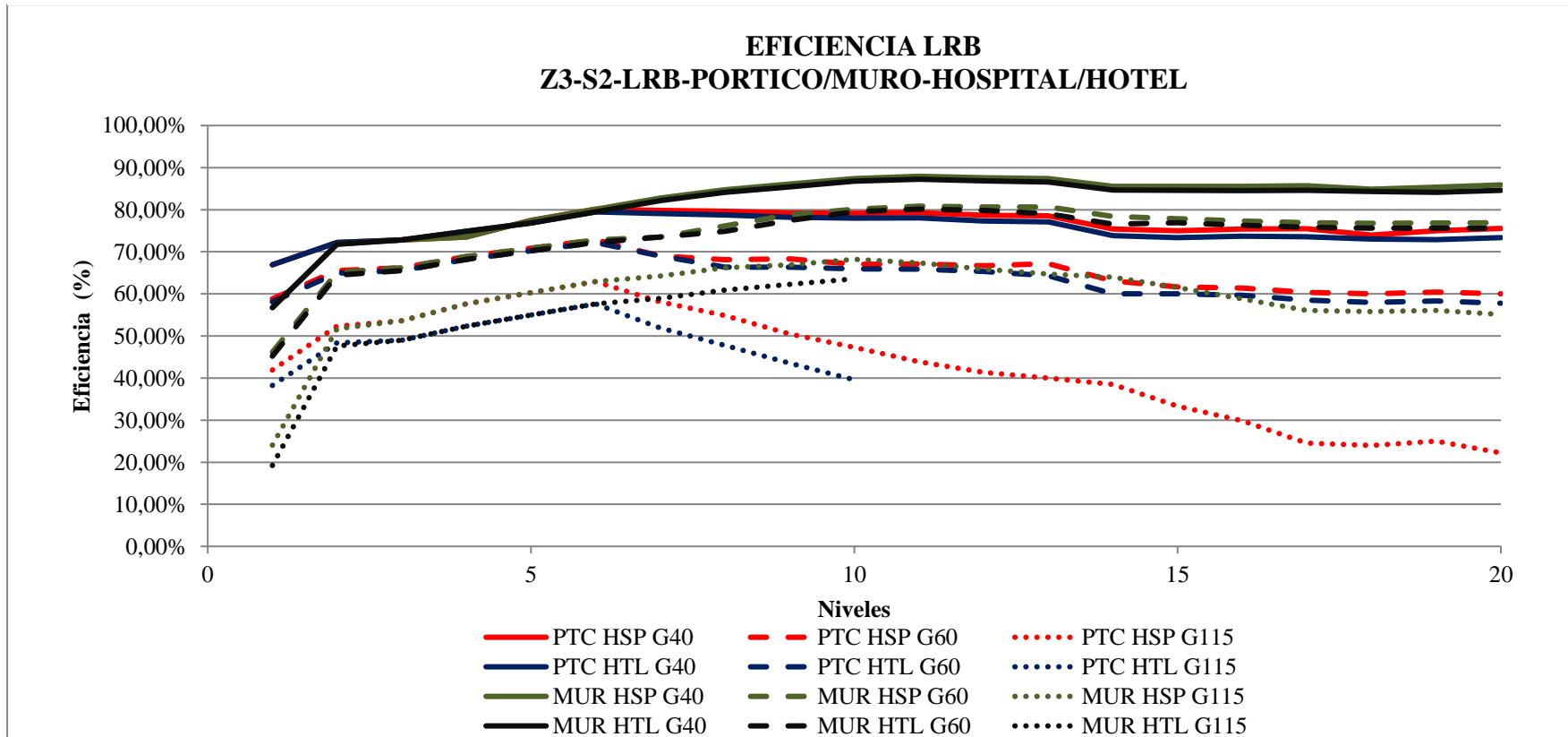
En la figura 12, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 24, en que se aprecia la curva de eficiencia en la zona sísmica Z3 y suelo S1 del aislador LRB expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico/muro hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S1, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G60, G115. 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.

Tabla 26*Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z3 S2											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL					
	LRB 40	LRB 60	LRB 115									
1	66.91%	58.82%	41.91%	66.91%	58.09%	38.24%	56.73%	46.15%	24.04%	56.73%	45.19%	19.23%
2	72.19%	65.56%	52.32%	72.19%	64.90%	48.34%	71.81%	65.10%	51.68%	71.81%	64.43%	47.65%
3	72.85%	66.23%	53.64%	72.85%	65.56%	49.01%	72.85%	66.23%	53.64%	72.85%	65.56%	49.01%
4	73.51%	68.87%	57.62%	74.83%	68.21%	52.32%	73.51%	68.87%	57.62%	74.83%	68.21%	52.32%
5	77.48%	70.86%	60.26%	76.82%	70.20%	54.97%	77.48%	70.86%	60.26%	76.82%	70.20%	54.97%
6	80.13%	72.85%	62.91%	79.47%	72.19%	57.62%	80.13%	72.85%	62.91%	79.47%	72.19%	57.62%
7	79.84%	68.99%	58.14%	79.07%	68.99%	51.94%	82.78%	73.51%	64.24%	82.12%	73.51%	58.94%
8	79.65%	68.14%	54.87%	78.76%	66.37%	47.79%	84.77%	76.16%	66.23%	84.11%	74.83%	60.93%
9	79.21%	68.32%	50.50%	78.22%	66.34%	43.56%	86.09%	78.81%	66.89%	85.43%	77.48%	62.25%
10	79.12%	67.03%	47.25%	78.02%	65.93%	39.56%	87.42%	80.13%	68.21%	86.75%	79.47%	63.58%
11	79.27%	67.07%	43.90%	78.05%	65.85%		87.94%	80.85%	67.38%	87.23%	80.14%	
12	78.67%	66.67%	41.33%	77.33%	65.33%		87.60%	80.62%	65.89%	86.82%	79.84%	
13	78.57%	67.14%	40.00%	77.14%	64.29%		87.39%	80.67%	64.71%	86.55%	78.99%	
14	75.38%	63.08%	38.46%	73.85%	60.00%		85.59%	78.38%	63.96%	84.68%	76.58%	
15	75.00%	61.67%	33.33%	73.33%	60.00%		85.58%	77.88%	61.54%	84.62%	76.92%	
16	75.44%	61.40%	29.82%	73.68%	59.65%		85.57%	77.32%	58.76%	84.54%	76.29%	
17	75.47%	60.38%	24.53%	73.58%	58.49%		85.71%	76.92%	56.04%	84.62%	75.82%	
18	74.00%	60.00%	24.00%	73.00%	58.00%		84.88%	76.74%	55.81%	84.30%	75.58%	
19	75.00%	60.42%	25.00%	72.92%	58.33%		85.37%	76.83%	56.10%	84.15%	75.61%	
20	75.56%	60.00%	22.22%	73.33%	57.78%		85.90%	76.92%	55.13%	84.62%	75.64%	

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3, en un suelo tipo S2 (suelo intermedio con aceleraciones entre 180m/s a 500 m/s), como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es bueno, debido que la edificación se encuentra solo un intermedio, en que las ondas sísmicas se propagan a grandes velocidades que origina oscilaciones en la edificación, ocasionando leve asentamiento en la edificación.

Figura 12
Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)



En la figura 13, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 25, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S2, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G60, G115, 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.

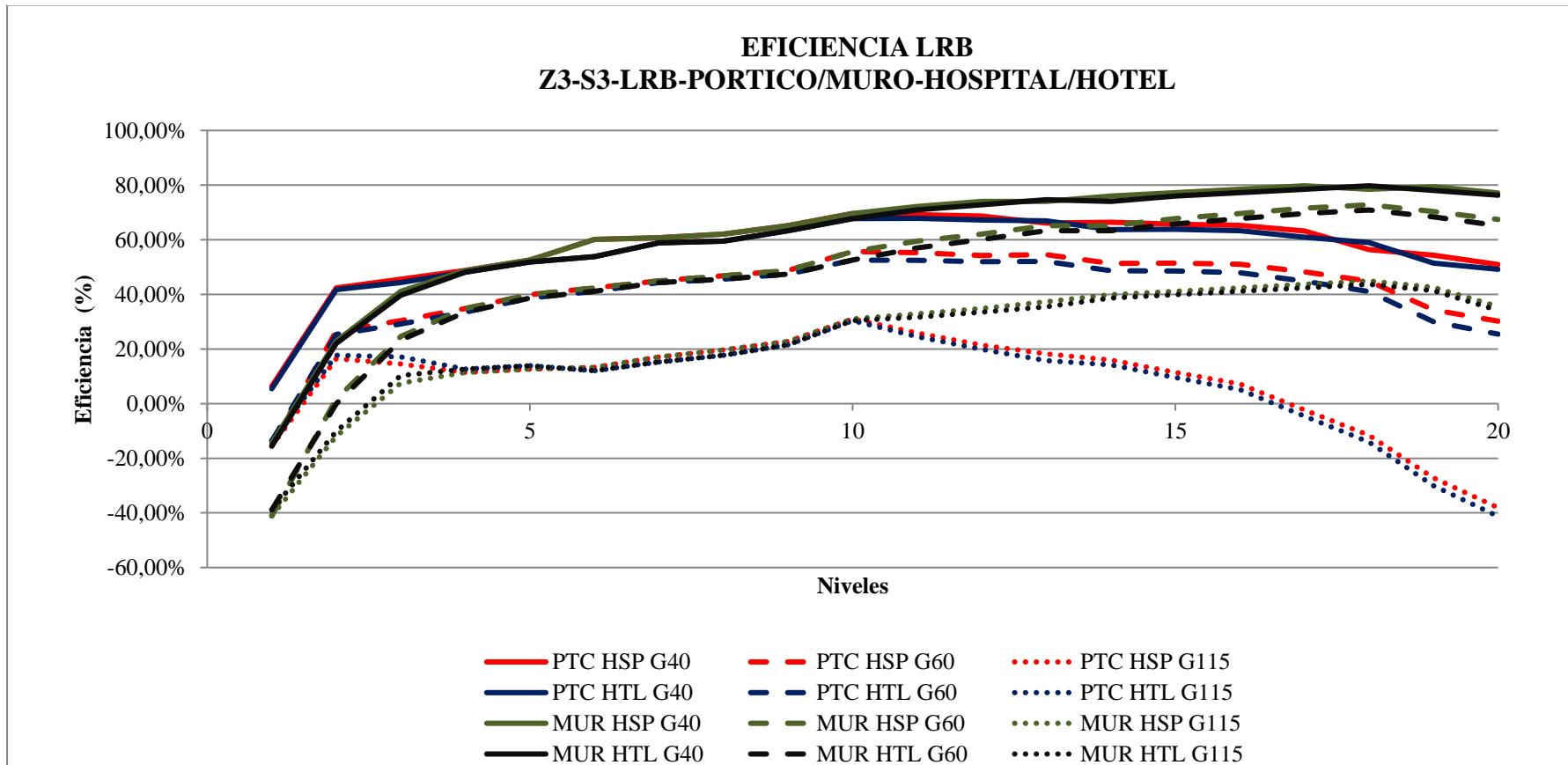
Tabla 27*Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z3 S3											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL		HOTEL		LRB	
	LRB 40	LRB 60	LRB 115									
1	6.36%	-15.45%	-15.45%	5.45%	-13.64%	-13.64%	-14.44%	-41.11%	-41.11%	-15.56%	-38.89%	-38.89%
2	42.41%	26.58%	16.46%	41.77%	25.32%	17.72%	22.88%	1.69%	-11.86%	22.03%	0.00%	-10.17%
3	45.57%	30.38%	14.56%	44.30%	29.11%	17.09%	41.10%	24.66%	7.53%	39.73%	23.29%	10.27%
4	48.73%	34.81%	11.39%	48.10%	33.54%	12.66%	48.73%	34.81%	11.39%	48.10%	33.54%	12.66%
5	52.53%	39.87%	12.66%	51.90%	38.61%	13.92%	52.53%	39.87%	12.66%	51.90%	38.61%	13.92%
6	60.13%	42.41%	13.29%	53.80%	41.14%	12.03%	60.13%	42.41%	13.29%	53.80%	41.14%	12.03%
7	60.76%	44.94%	17.09%	58.86%	44.30%	15.19%	60.76%	44.94%	17.09%	58.86%	44.30%	15.19%
8	62.03%	46.84%	19.62%	59.49%	45.57%	17.72%	62.03%	46.84%	19.62%	59.49%	45.57%	17.72%
9	65.19%	48.73%	22.78%	63.29%	47.47%	21.52%	65.19%	48.73%	22.78%	63.29%	47.47%	21.52%
10	69.62%	55.70%	31.01%	67.72%	52.53%	30.38%	69.62%	55.70%	31.01%	67.72%	52.53%	30.38%
11	69.23%	55.24%	25.87%	67.83%	52.45%	24.48%	72.15%	59.49%	32.91%	70.89%	56.96%	31.65%
12	68.70%	54.20%	21.37%	67.18%	51.91%	19.85%	74.05%	62.03%	34.81%	72.78%	60.13%	33.54%
13	66.12%	54.55%	18.18%	66.94%	52.07%	15.70%	74.05%	65.19%	37.34%	74.68%	63.29%	35.44%
14	66.37%	51.33%	15.93%	63.72%	48.67%	14.16%	75.95%	65.19%	39.87%	74.05%	63.29%	38.61%
15	65.71%	51.43%	11.43%	63.81%	48.57%	9.52%	77.22%	67.72%	41.14%	75.95%	65.82%	39.87%
16	65.31%	51.02%	7.14%	63.27%	47.96%	5.10%	78.48%	69.62%	42.41%	77.22%	67.72%	41.14%
17	63.22%	48.28%	-2.30%	60.92%	44.83%	-4.60%	79.75%	71.52%	43.67%	78.48%	69.62%	42.41%
18	56.41%	44.87%	-11.54%	58.97%	41.03%	-14.10%	78.48%	72.78%	44.94%	79.75%	70.89%	43.67%
19	54.29%	34.29%	-27.14%	51.43%	30.00%	-30.00%	79.35%	70.32%	42.58%	78.06%	68.39%	41.29%
20	50.95%	30.16%	-38.10%	49.21%	25.40%	-41.27%	77.11%	67.41%	35.56%	76.30%	65.19%	34.07%

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3 ,en un suelo tipo S3 (suelo blando con aceleraciones menores a 180m/s), como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es bajo ,debido que el componente del suelo tipo S3, corresponde arena fina o gravas arenosas teniendo menos velocidad de propagación de ondas sísmicas ocasionando mayor aceleración sísmica.

Figura 13

Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)



En la figura 14, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 25, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G60, G115 correspondiente a suelo S3, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G60, G115, 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.

4.2. Aisladores de alto amortiguamiento

Tabla 28

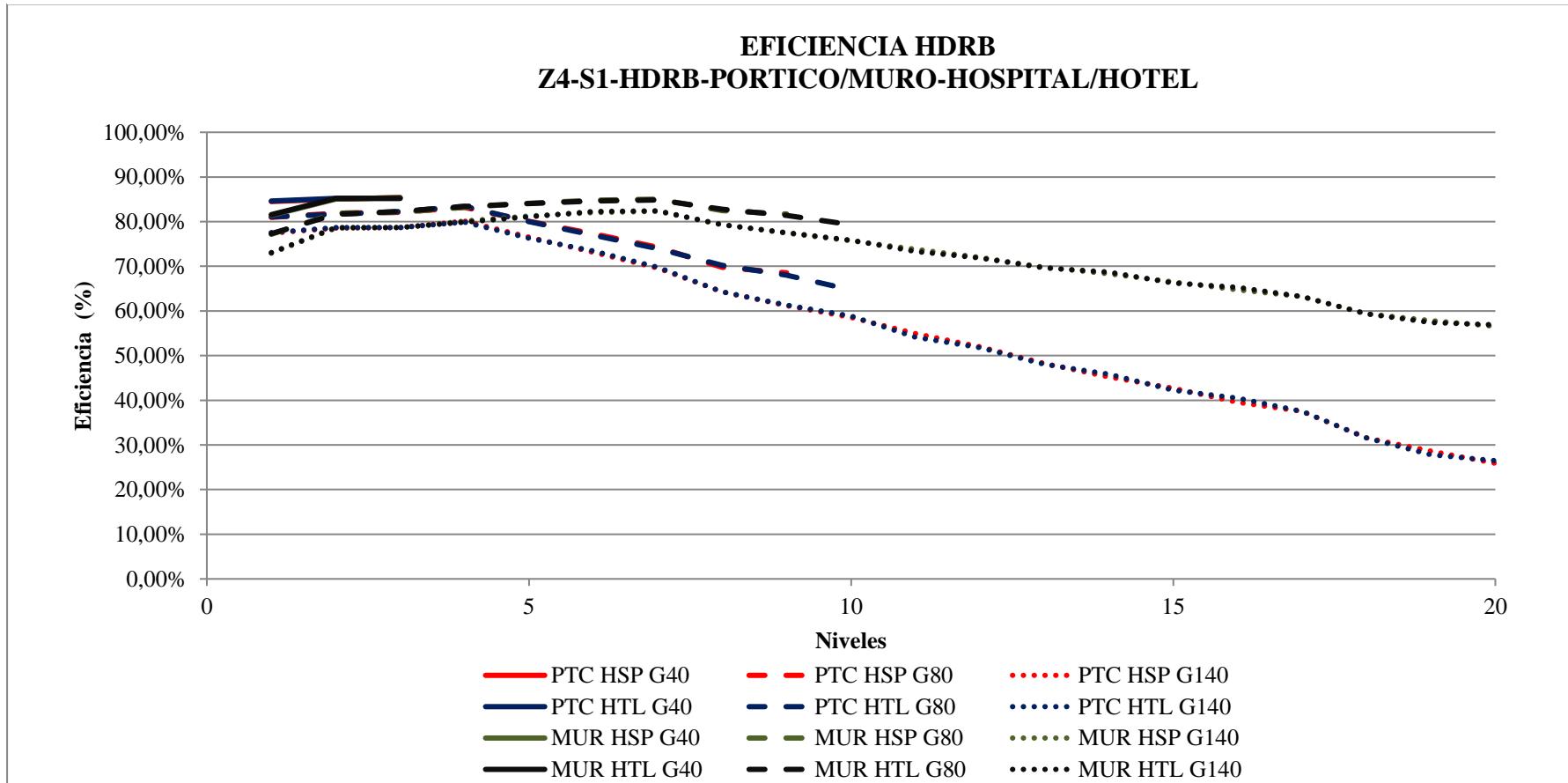
Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1)

NIVELES DE ENTREPISO	Z4 S1											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL			HOTEL			HOSPITAL			HOTEL		
	HDRB 40	HDRB 80	HDRB 140									
1	84.50%	80.95%	77.40%	84.62%	81.07%	77.51%	81.42%	77.16%	72.91%	81.56%	77.30%	73.05%
2	85.03%	81.89%	78.52%	85.21%	81.66%	78.70%	85.03%	81.89%	78.52%	85.21%	81.66%	78.70%
3	85.38%	82.07%	78.70%	85.21%	82.25%	78.70%	85.38%	82.07%	78.70%	85.21%	82.25%	78.70%
4		83.20%	80.12%		83.43%	79.88%		83.20%	80.12%		83.43%	79.88%
5		80.07%	76.52%		80.00%	76.30%		84.08%	81.24%		84.02%	81.07%
6		77.26%	73.10%		76.99%	73.45%		84.79%	82.01%		84.62%	82.25%
7		74.27%	69.58%		73.96%	69.79%		85.03%	82.30%		84.85%	82.42%
8		69.76%	64.29%		70.24%	64.29%		82.48%	79.31%		82.76%	79.31%
9		68.53%	61.20%		68.00%	61.33%		81.71%	77.44%		81.40%	77.52%
10			58.53%		64.71%	58.82%			75.69%		79.31%	75.86%
11			54.92%			54.10%			73.81%			73.33%
12			51.96%			51.79%			71.98%			71.88%
13			48.27%			48.08%			69.78%			69.66%
14			45.21%			45.83%			68.31%			68.67%
15			42.67%			42.22%			66.49%			66.23%
16			39.52%			40.48%			64.72%			65.28%
17			37.50%			37.50%			63.24%			63.24%
18			31.58%			31.58%			59.38%			59.38%
19			28.61%			27.78%			57.87%			57.38%
20			25.88%			26.47%			56.55%			56.90%

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4(altamente sísmico), en un suelo tipo S1 (suelo muy rígido con aceleraciones entre 500m/s a 1500 m/s), como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es muy alto ,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, teniendo más eficiencia que el aislador LRB.

Figura 14

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



En la figura 15, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 27, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140 correspondiente a suelo S1, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G80, G140, 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.

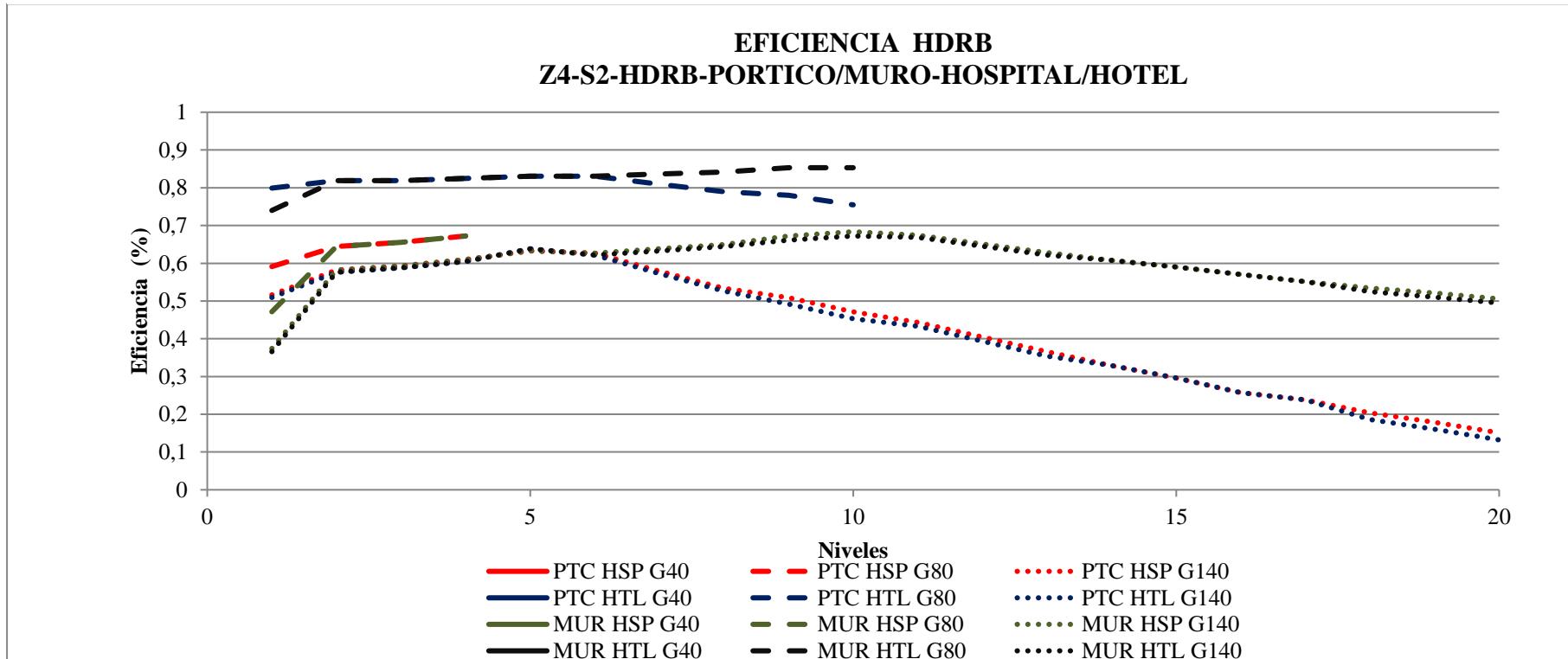
Tabla 29*Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z4 S2											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL		HOTEL		HOTEL	
	HDRB 40	HDRB 80	HDRB 140									
1		59.12%	51.57%		79.87%	50.94%		47.15%	37.40%		73.98%	36.59%
2		64.41%	58.19%		81.92%	57.63%		64.41%	58.19%		81.92%	57.63%
3		65.54%	59.32%		81.92%	58.76%		65.54%	59.32%		81.92%	58.76%
4		67.23%	61.02%		82.49%	60.45%		67.23%	61.02%		82.49%	60.45%
5			63.28%		83.05%	63.84%			63.28%		83.05%	63.84%
6			62.71%		83.05%	62.15%			62.71%		83.05%	62.15%
7			57.89%		80.92%	57.24%			63.84%		83.62%	63.28%
8			53.38%		78.95%	52.63%			64.97%		84.18%	64.41%
9			50.85%		77.97%	49.15%			67.23%		85.31%	66.10%
10			47.17%		75.47%	45.28%			68.36%		85.31%	67.23%
11			44.33%			43.30%			67.47%			66.87%
12			40.45%			39.33%			65.13%			64.47%
13			36.59%			35.37%			62.86%			62.14%
14			32.89%			32.89%			60.77%			60.77%
15			29.58%			29.58%			59.02%			59.02%
16			25.76%			25.76%			57.02%			57.02%
17			23.81%			23.81%			55.14%			55.14%
18			20.34%			18.64%			53.47%			52.48%
19			17.86%			16.07%			52.08%			51.04%
20			15.09%			13.21%			50.55%			49.45%

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4 (altamente sísmico), en un suelo tipo S2 (suelo intermedio con aceleraciones entre 180 m/s a 500 m/s), como indica 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.

Figura 15

Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)



En la figura 16, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 28, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140 correspondiente a suelo S2, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G80, G140, 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 HSP G140 y PTC HTL G140.

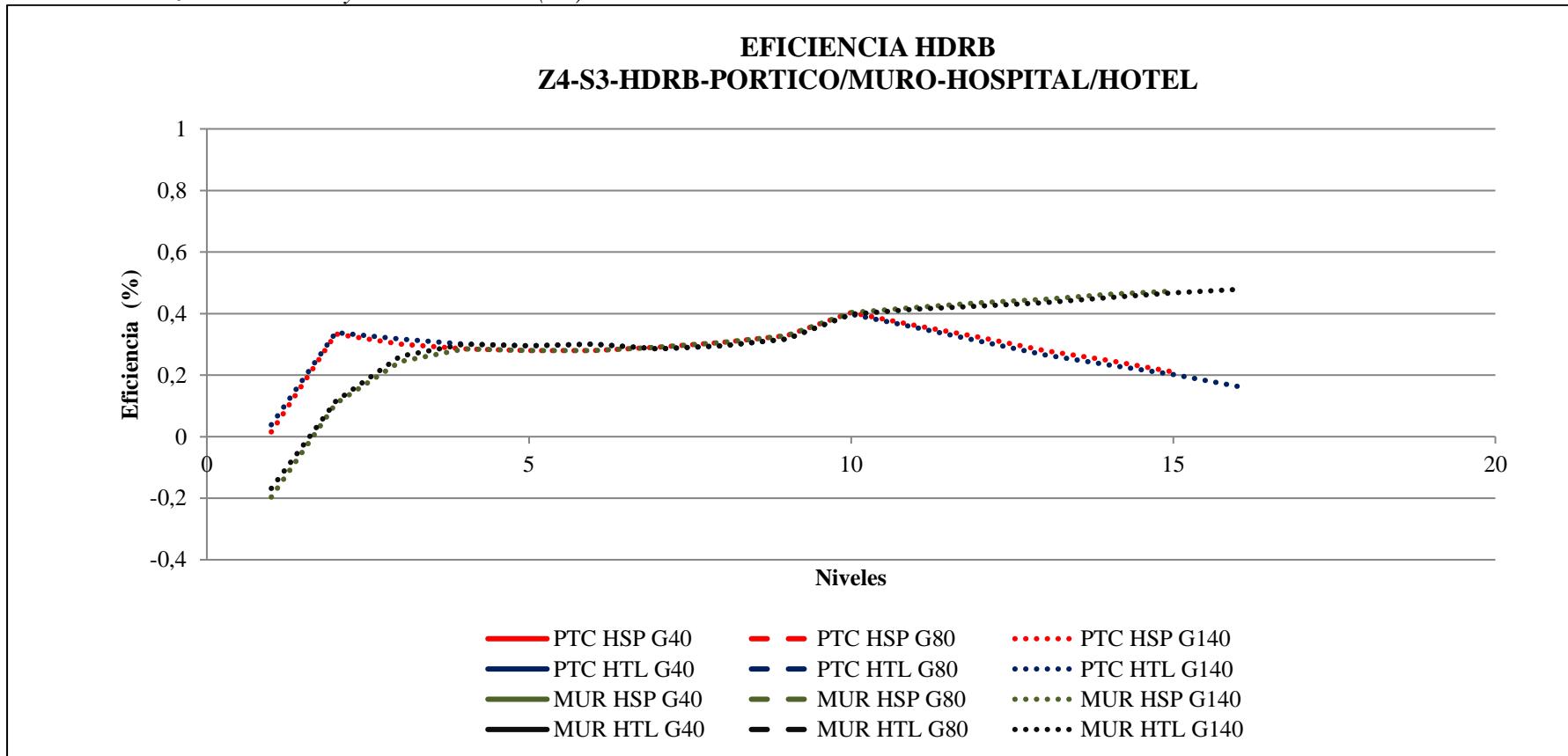
Tabla 30*Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z4 S3											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL		HOTEL		HOTEL	
	HDRB 40	HDRB 80	HDRB 140									
1			1.54%			3.85%			-19.63%			-16.82%
2			33.33%			33.87%			10.79%			11.51%
3			30.11%			31.72%			24.42%			26.16%
4			28.49%			30.11%			28.49%			30.11%
5			27.96%			29.57%			27.96%			29.57%
6			27.96%			30.11%			27.96%			30.11%
7			29.03%			28.49%			29.03%			28.49%
8			30.65%			29.57%			30.65%			29.57%
9			32.80%			31.72%			32.80%			31.72%
10			40.32%			39.78%			40.32%			39.78%
11			36.09%			35.50%			41.94%			41.40%
12			32.26%			30.97%			43.55%			42.47%
13			27.97%			26.57%			44.62%			43.55%
14			24.81%			23.31%			46.24%			45.16%
15			20.97%			20.16%			47.31%			46.77%
16						16.38%						47.85%
17												
18												
19												
20												

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4 (altamente sísmico), en un suelo tipo S3 (suelo blando con aceleraciones menores a 180 m/s), como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es muy baja con valores de 1.5% a 40%, debido que la edificación se encuentra solo un 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.

Figura 16

Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)



En la figura 17, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 29, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140 correspondiente a suelo S3, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G80, G140, 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.

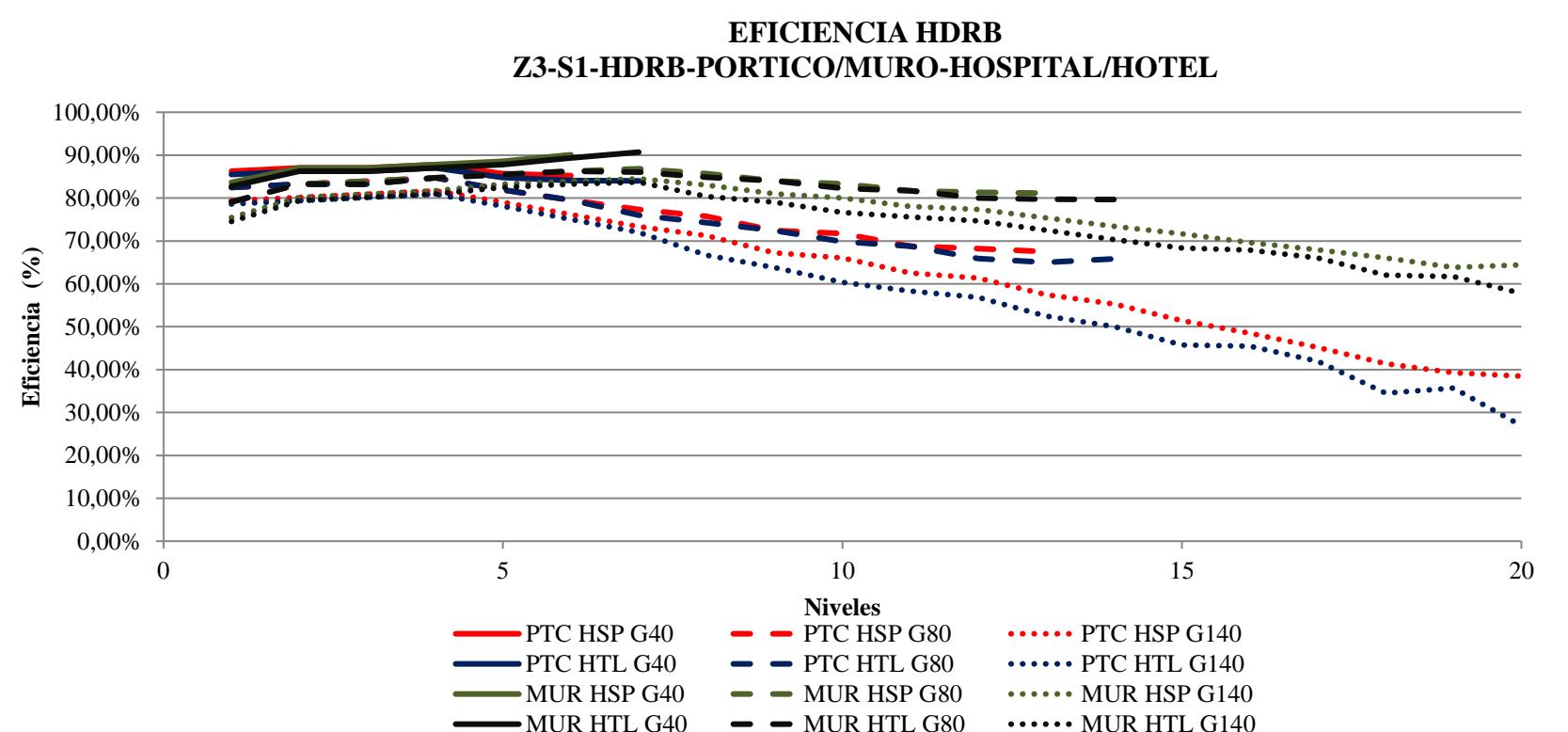
Tabla 31*Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z3											
	S1						MURO					
	PORTICO				HOTEL				HOTEL			
	HDRB	HDRB	HDRB	HDRB	HDRB	HDRB	HDRB	HDRB	HDRB	HDRB	HDRB	HDRB
	40	80	140	40	80	140	40	80	140	40	80	140
1	86.26%	82.44%	79.39%	85.50%	82.44%	78.63%	83.64%	79.09%	75.45%	82.73%	79.09%	74.55%
2	87.02%	83.21%	80.15%	86.26%	83.21%	79.39%	87.02%	83.21%	80.15%	86.26%	83.21%	79.39%
3	87.02%	83.97%	80.92%	86.26%	83.21%	80.15%	87.02%	83.97%	80.92%	86.26%	83.21%	80.15%
4	87.79%	84.73%	81.68%	87.02%	84.73%	80.92%	87.79%	84.73%	81.68%	87.02%	84.73%	80.92%
5	85.71%	81.90%	79.05%	84.76%	81.90%	78.10%	88.55%	85.50%	83.21%	87.79%	85.50%	82.44%
6	85.23%	79.55%	76.14%	84.09%	79.55%	75.00%	90.08%	86.26%	83.97%	89.31%	86.26%	83.21%
7		77.33%	73.33%		84.00%	76.00%	72.00%		86.82%	84.50%	90.70%	86.05%
8		75.76%	71.21%			74.24%	66.67%		85.71%	83.04%		84.82%
9		72.41%	67.24%			72.41%	63.79%		84.00%	81.00%		84.00%
10		71.70%	66.04%			69.81%	60.38%		83.33%	80.00%		82.22%
11		68.75%	62.50%			68.75%	58.33%		81.71%	78.05%		81.71%
12		68.18%	61.36%			65.91%	56.82%		81.33%	77.33%		80.00%
13		67.50%	57.50%			65.00%	52.50%		81.16%	75.36%		79.71%
14			55.26%			65.79%	50.00%			73.44%		79.69%
15			51.43%				45.71%			71.67%		68.33%
16			48.48%				45.45%			69.64%		67.86%
17			45.16%				41.94%			67.92%		66.04%
18			41.38%				34.48%			66.00%		62.00%
19			39.29%				35.71%			63.83%		61.70%
20			38.46%				26.92%			64.44%		57.78%

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3 (altamente sísmico), en un suelo tipo S1 (suelos muy rígidos con aceleraciones entre a 500m/s a 1500 m/s) como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es altas 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

Figura 17

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



En la figura 18, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 30, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140 correspondiente a suelo S1, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G80, G140, 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%.

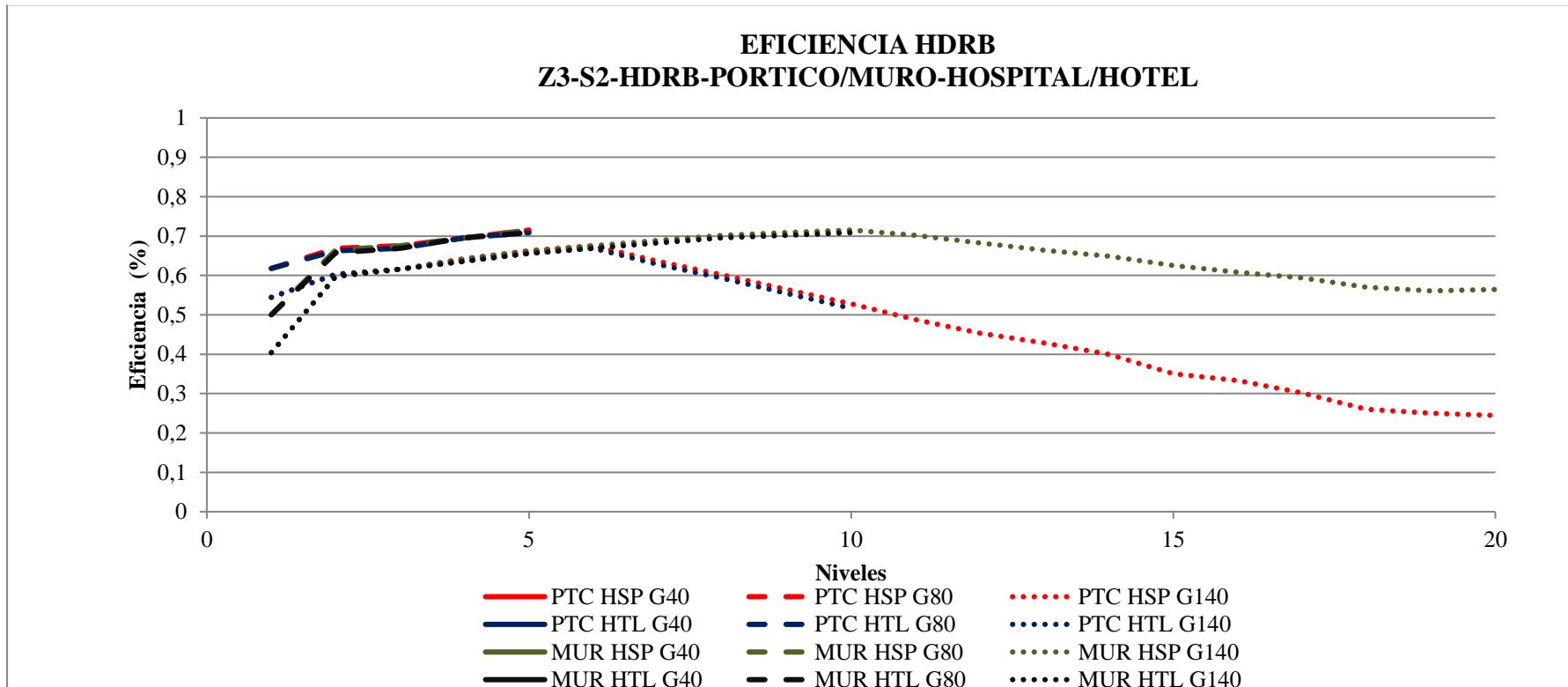
Tabla 32*Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z3											
	S2											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL	
	HDRB 40	HDRB 80	HDRB 140									
1		61.76%	54.41%		61.76%	54.41%		50.00%	40.38%		50.00%	40.38%
2		66.89%	60.26%		66.23%	60.26%		66.44%	59.73%		65.77%	59.73%
3		67.55%	61.59%		66.89%	61.59%		67.55%	61.59%		66.89%	61.59%
4		69.54%	64.24%		69.54%	63.58%		69.54%	64.24%		69.54%	63.58%
5		71.52%	66.23%		70.86%	65.56%		71.52%	66.23%		70.86%	65.56%
6		67.55%				66.89%			67.55%			66.89%
7		63.57%				62.79%			68.87%			68.21%
8		60.18%				59.29%			70.20%			69.54%
9		56.44%				55.45%			70.86%			70.20%
10		52.75%				51.65%			71.52%			70.86%
11		48.78%							70.21%			
12		45.33%							68.22%			
13		42.86%							66.39%			
14		40.00%							64.86%			
15		35.00%							62.50%			
16		33.33%							60.82%			
17		30.19%							59.34%			
18		26.00%							56.98%			
19		25.00%							56.10%			
20		24.44%							56.41%			

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3 (altamente sísmico), en un suelo tipo S2 (suelos intermedio con aceleraciones entre a 180 m/s a 500 m/s) como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es altas 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.

Figura 18

Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)



En la figura 19, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 31, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140 correspondiente a suelo S2, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G80, G140, 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%.

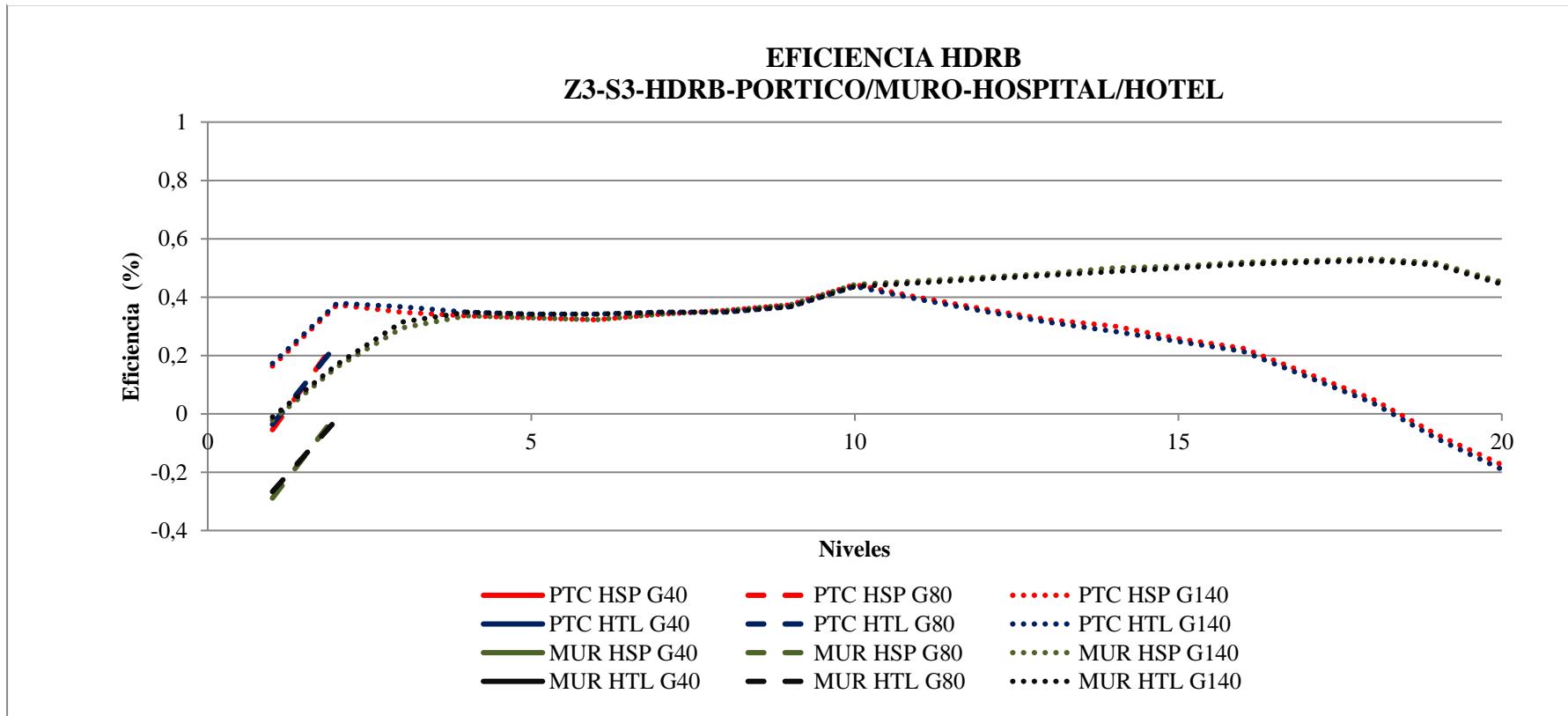
Tabla 33*Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z3 S3											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL	
	HDRB 40	HDRB 80	HDRB 140									
1	-5.45%	16.36%		-3.64%	17.27%		-28.89%	-2.22%		-26.67%		-1.11%
2	25.32%	37.34%		24.05%	37.97%		0.00%	16.10%		-1.69%		16.95%
3		34.81%			36.71%			29.45%				31.51%
4		33.54%			34.81%			33.54%				34.81%
5		32.91%			34.18%			32.91%				34.18%
6		32.28%			34.18%			32.28%				34.18%
7		34.18%			34.81%			34.18%				34.81%
8		35.44%			34.81%			35.44%				34.81%
9		37.34%			36.71%			37.34%				36.71%
10		44.30%			43.67%			44.30%				43.67%
11		39.86%			39.16%			45.57%				44.94%
12		35.88%			35.11%			46.84%				46.20%
13		32.23%			31.40%			48.10%				47.47%
14		30.09%			28.32%			50.00%				48.73%
15		25.71%			24.76%			50.63%				50.00%
16		22.45%			21.43%			51.90%				51.27%
17		13.79%			12.64%			52.53%				51.90%
18		5.13%			3.85%			53.16%				52.53%
19		-7.14%			-8.57%			51.61%				50.97%
20		-17.46%			-19.05%			45.19%				44.44%

Se aprecia en la siguiente tabla, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3 (altamente sísmico), en un suelo tipo S3 (suelos blando con aceleraciones menores a 180 m/s) como indica el análisis el porcentaje de eficiencia es baja con valores de 16% a 44% 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 oscilaciones en la edificación, generando menor eficiencia.

Figura 19

Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)



En la figura 20, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 32, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G40, G80, G140 correspondiente a suelo S3, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G40, G80, G140, el porcentaje de eficiencia para los pisos de 1 al 10 rondan entre 16% al 44% de eficiencia, concluyendo que afectaría de manera crítica la edificación, no teniendo buena eficiencia los aisladores en general.

4.3. Aisladores de caucho natural

Tabla 34

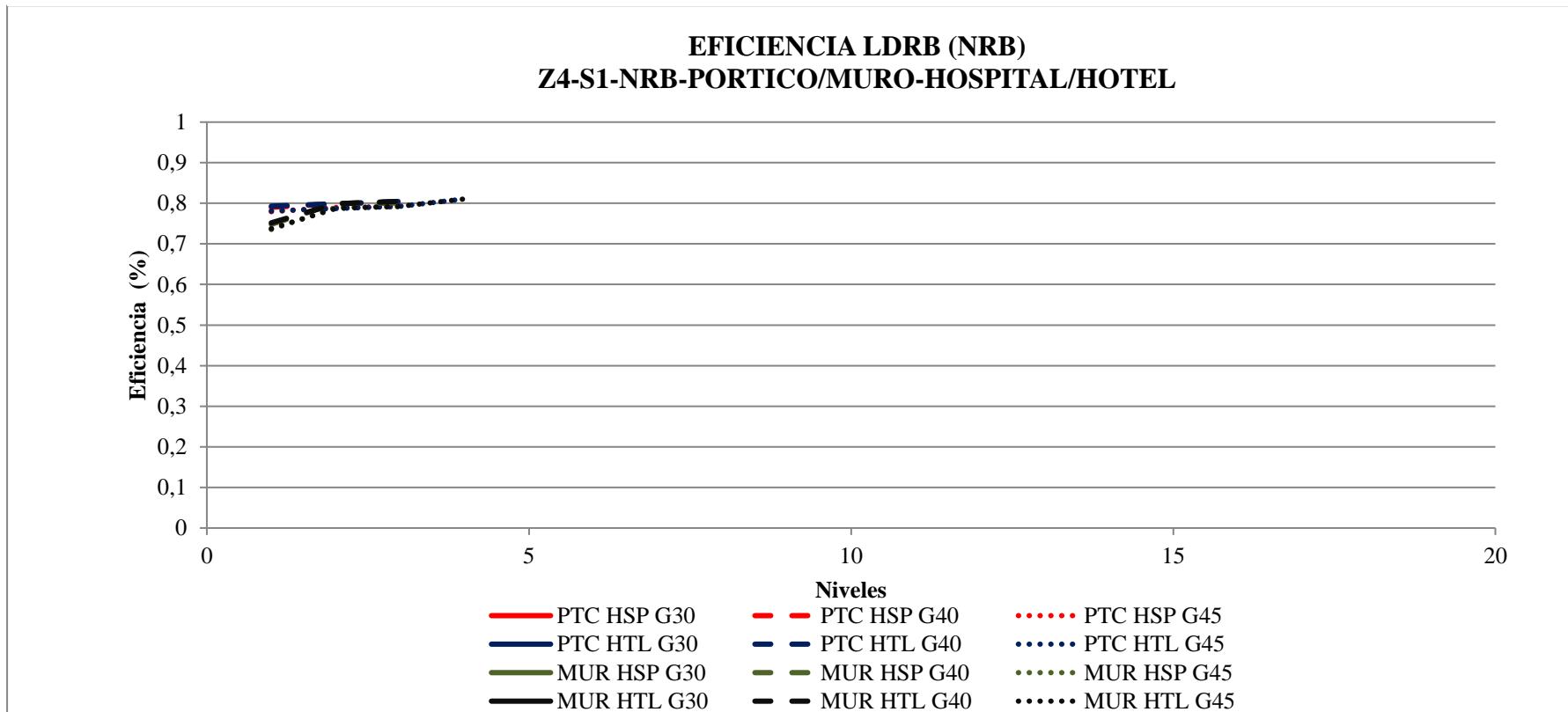
Resultados en zona sísmica 4 y suelos muy rígidos (S1)

NIVELES DE ENTREPISO	Z4 S1											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL		HOTEL		HOTEL	
	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB
	30	40	45	30	40	45	30	40	45	30	40	45
1		78.99%	77.93%		79.29%	78.11%		74.82%	73.55%		75.18%	73.76%
2		79.94%	78.99%		79.88%	78.70%		79.94%	78.99%		79.88%	78.70%
3		80.12%	79.17%		80.47%	79.29%		80.12%	79.17%		80.47%	79.29%
4						81.07%						81.07%
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Se aprecia en la siguiente tabla, que la eficiencia del aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) es mejor en una estructura de sistema Pórtico en comparación a un sistema de muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4 (altamente sísmico), en un suelo tipo S1 (suelos muy rígidos con aceleraciones entre a 500m/s a 1500 m/s) como indica 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%.

Figura 20

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



En la figura 21, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 33, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G30, G40, G45 correspondiente a suelo S1, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G30, G40, G45, 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.

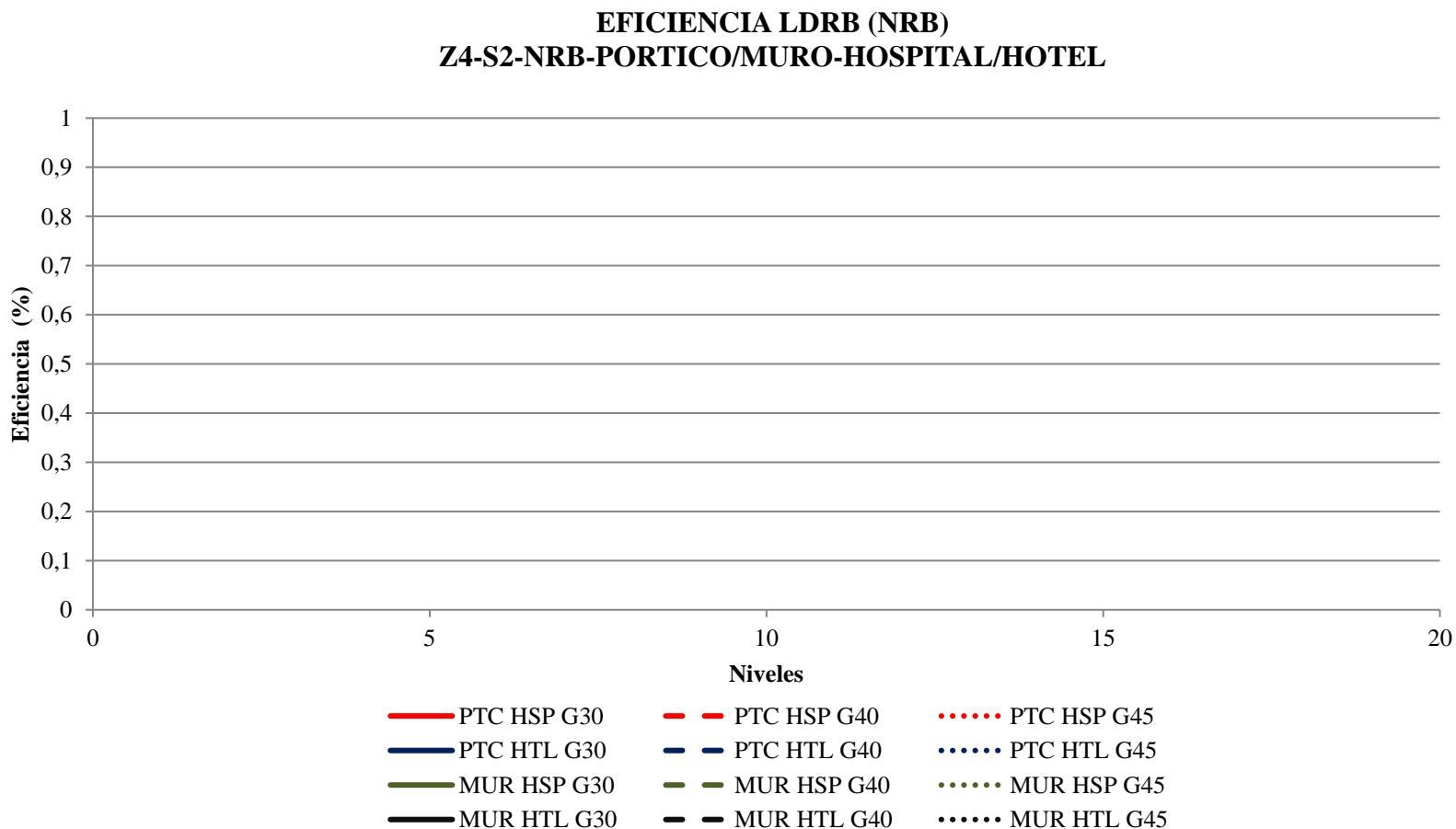
Tabla 35*Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)*

NIVELES DE ENTREPISO	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL			HOTEL			HOSPITAL			HOTEL		
	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

El aislador tipo NRB (Aisladores de Cacho natural) no es aplicable para suelos intermedios en la zona sísmica Z4 (altamente sísmica).

Figura 21

Resultados en zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2)



El aislador tipo NRB (Aisladores de CaUCHO natural) no es aplicable para suelos intermedios en la zona sísmica Z4 (altamente sísmica).

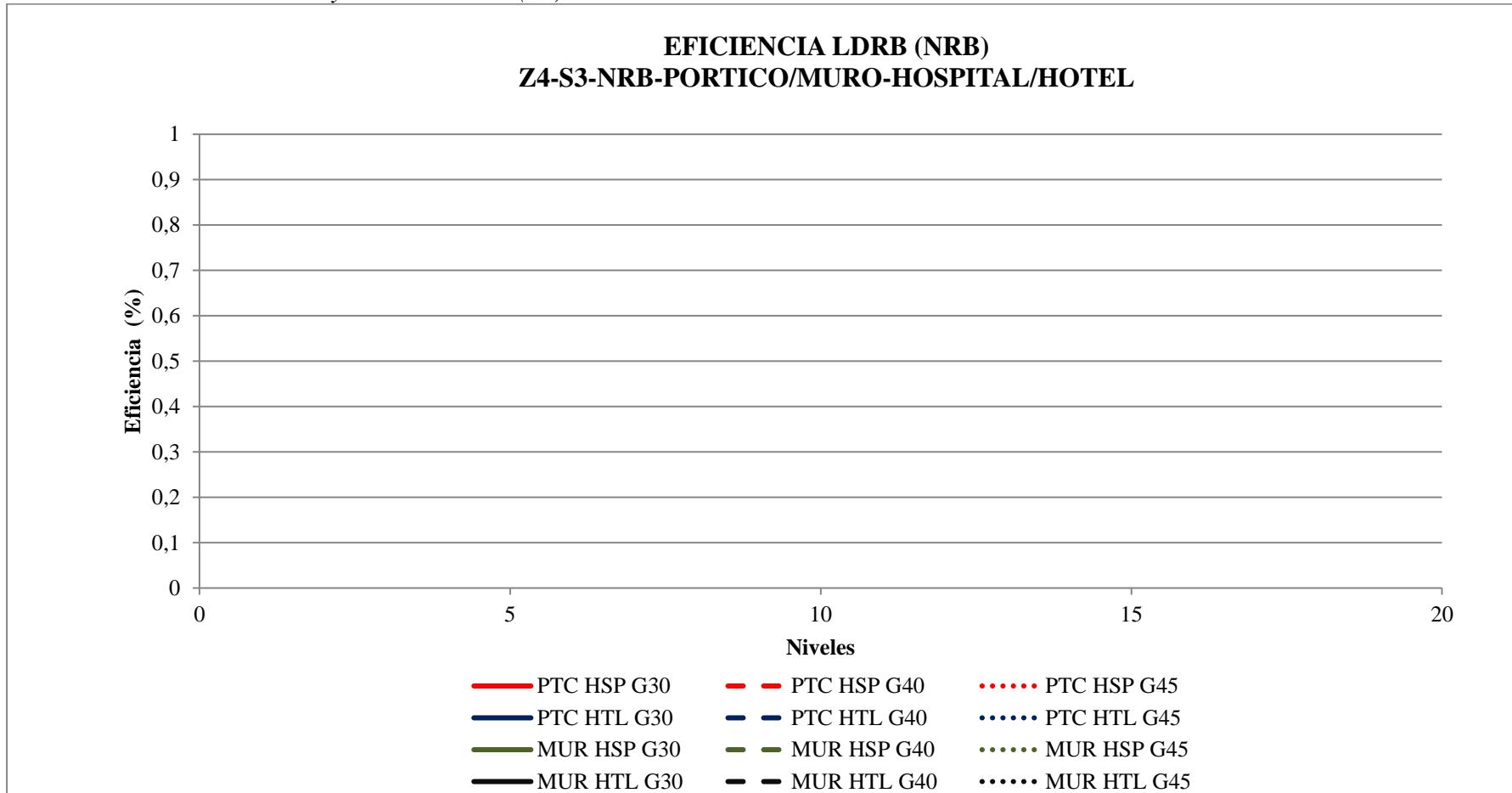
Tabla 36*Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)*

NIVELES DE ENTREPISO	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL			HOTEL			HOSPITAL			HOTEL		
	NRB 30	NRB 40	NRB 45									
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

El aislador tipo NRB (Aisladores de Caúcho natural) no es aplicable para suelos blandos en la zona sísmica Z4 (altamente sísmica).

Figura 22

Resultados en zona sísmica 4 y suelos blandos (S3)

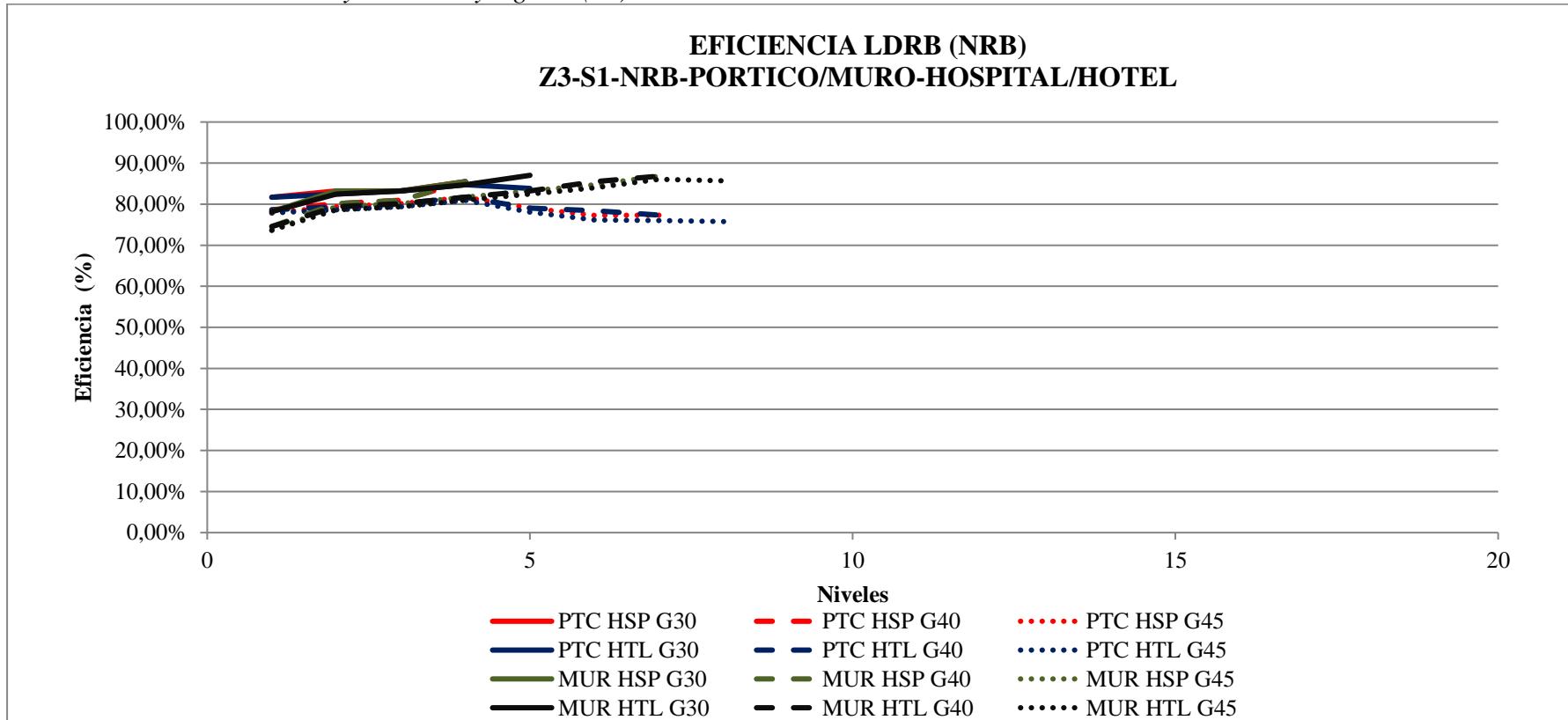


El aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) no es aplicable para suelos blandos en la zona sísmica Z4 (altamente sísmica).

Tabla 37*Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1)*

NIVELES DE ENTREPISO	Z3 S1											
	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL		HOTEL		HOSPITAL		HOTEL		HOTEL		HOTEL	
	NRB 30	NRB 40	NRB 45									
1	81.68%	78.63%	77.86%	81.68%	78.63%	77.86%	78.18%	74.55%	73.64%	78.18%	74.55%	73.64%
2	83.21%	80.15%	79.39%	82.44%	79.39%	78.63%	83.21%	80.15%	79.39%	82.44%	79.39%	78.63%
3	83.21%	80.92%	80.15%	83.21%	80.15%	79.39%	83.21%	80.92%	80.15%	83.21%	80.15%	79.39%
4	85.50%	85.50%	81.68%	84.73%	81.68%	80.92%	85.50%	85.50%	81.68%	84.73%	81.68%	80.92%
5			79.05%	83.81%	79.05%	78.10%			83.21%	87.02%	83.21%	82.44%
6			77.27%		78.41%	76.14%			84.73%		85.50%	83.97%
7			77.33%		77.33%	76.00%			86.82%		86.82%	86.05%
8						75.76%						85.71%
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Se aprecia en la siguiente tabla, que la eficiencia del aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) es mejor en una estructura de sistema Pórtico en comparación a un sistema de muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica, en un suelo tipo S1 (suelos muy rígidos con aceleraciones entre a 500m/s a 1500 m/s) como indica 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%.

Figura 23*Resultados en zona sísmica 3 y suelos muy rígidos (S1)*

En la figura 24, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 36, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G30, G40, G45 correspondiente a suelo S1, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G30, G40, G45, 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.

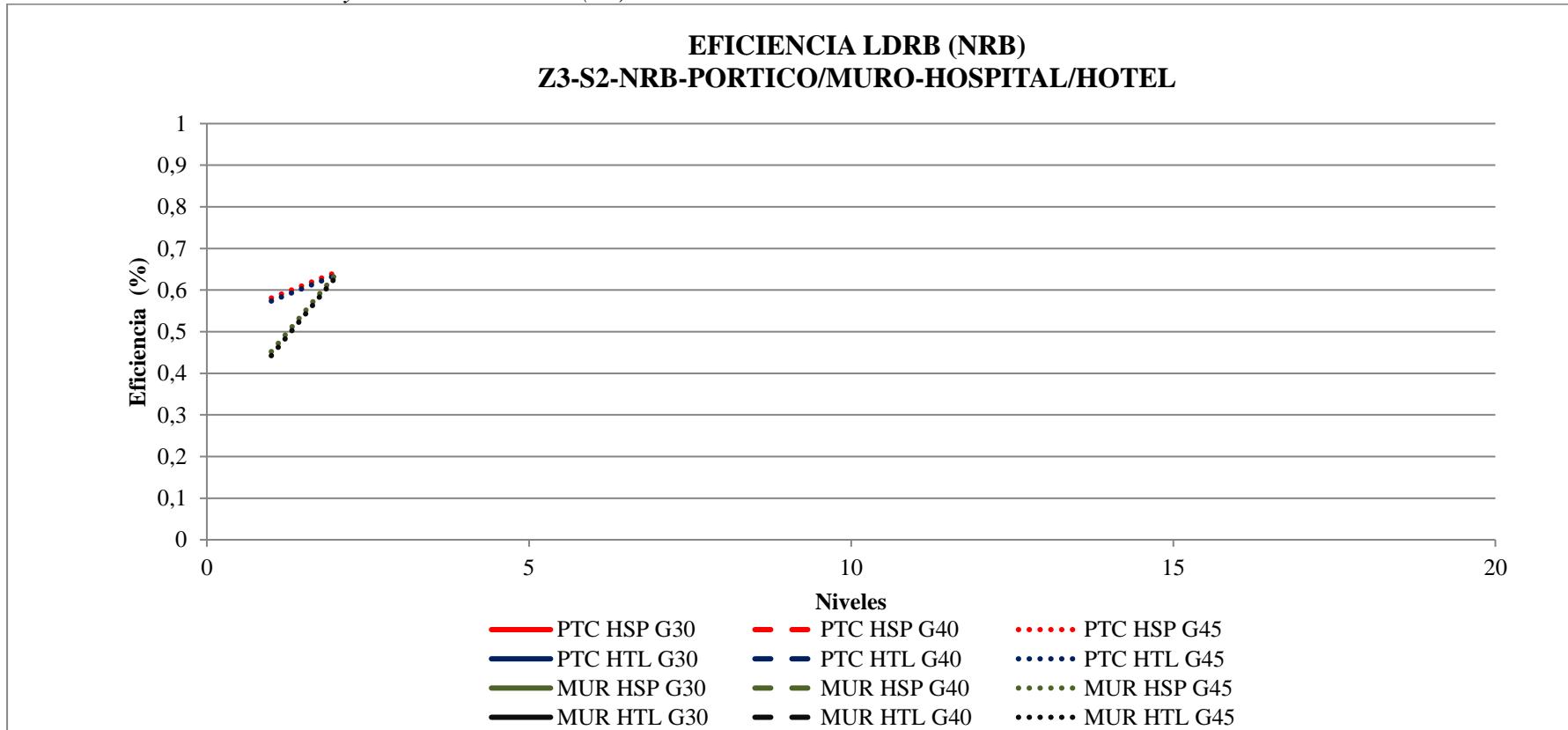
Tabla 38*Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)*

NIVELES DE ENTREPISO	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL			HOTEL			HOSPITAL			HOTEL		
	NRB 30	NRB 40	NRB 45									
1			58.09%			57.35%			45.19%			44.23%
2			64.24%			63.58%			63.76%			63.09%
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Se aprecia en la siguiente tabla, que la eficiencia del aislador tipo NRB (Aisladores de Cauchó natural) es mejor en una estructura de sistema Pórtico en comparación a un sistema de muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3, en un suelo tipo S2 (suelos intermedio con aceleraciones entre a 180m/s a 500 m/s) como indica 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 44% al 64%.

Figura 24

Resultados en zona sísmica 3 y suelos intermedios (S2)



En la figura 25, se aprecia el respectivo diagrama de la tabla 37, en que 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 hospital (PTC/MUR HSP) con los módulos elásticos del caucho G30, G40, G45 correspondiente a suelo S2, para pórticos/muros de hotel (PTC/MUR HTL) con los módulos elásticos del caucho de G30, G40, G45, 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

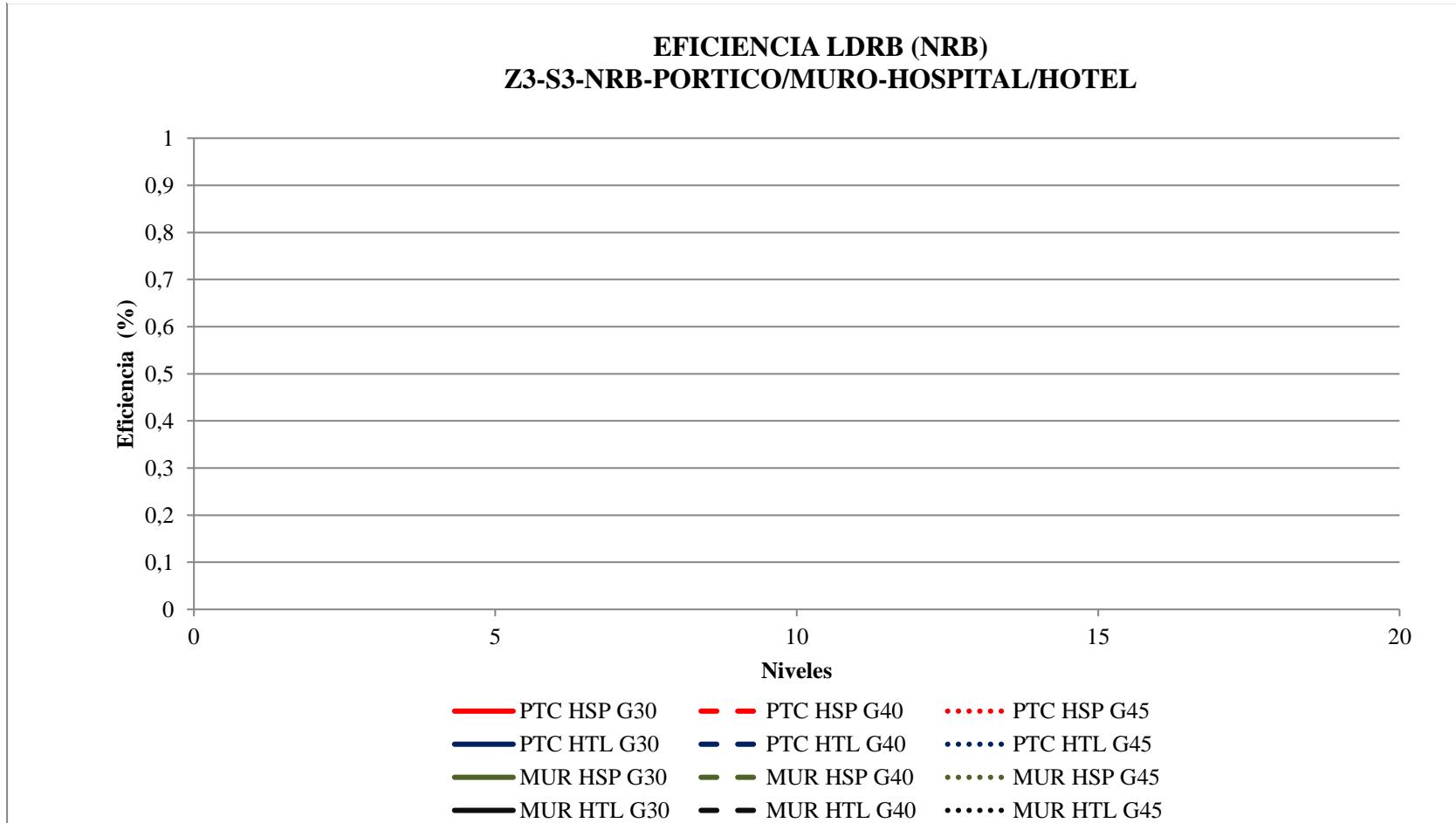
Tabla 39*Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)*

NIVELES DE ENTREPISO	PORTICO						MURO					
	HOSPITAL			HOTEL			HOSPITAL			HOTEL		
	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB	NRB
	30	40	45	30	40	45	30	40	45	30	40	45
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

El aislador tipo NRB (Aisladores de Caúcho natural) no es aplicable para suelos blandos en la zona sísmica Z3 (mediana sismicidad).

Figura 25

Resultados en zona sísmica 3 y suelos blandos (S3)



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

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

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 siguiente tabla 21 y figura 9, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4, en un suelo tipo S1 (suelo muy rígido con aceleraciones entre 500m/s y 1500m/s), apreciándose además, que, la curva de eficiencia es expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G60, G115 correspondiente a suelo S1 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G60, 6115. 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 tabla 22 y figura 10, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4, en un suelo tipo S2 (suelo intermedio con aceleraciones entre 180m/s y 500m/s). Así mismo, la curva de eficiencia es expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G60, G115 correspondiente a suelo S2 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G60, G115.

Por otro lado, se observó en la tabla 23 y figura 11, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica

Z4, en un suelo tipo S3 (suelo blando con aceleraciones menores a 180m/s), siendo la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos para un edificio con aisladores tipo (LRB), en un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G60, G115, correspondiente a suelo S3 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G60, G115, 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 tabla 24 y figura 12, se observa 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3, en un suelo tipo S1 (suelo muy rígido con aceleraciones entre 500m/s a 1500 m/s); en tanto, en la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos para un edificio con aisladores tipo (LRB) para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G60, G115, correspondiente a suelo S3 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G60, G115, 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 tabla 25 y figura 13, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3, en un suelo tipo S2 (suelo intermedio con aceleraciones entre 180m/s a 500 m/s); en

tanto, en la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos para un edificio con aisladores tipo (LRB) para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G60, G115, correspondiente a suelo S3 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G60, G115, 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 tabla 26 y figura 14, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3, en un suelo tipo S3 (suelo blando con aceleraciones menores a 180m/s); en tanto, la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos para un edificio con aisladores tipo (LRB) para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G60, G115, correspondiente a suelo S3 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G60, G115, 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 tabla 27 y figura 15, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4(altamente sísmico), en un suelo tipo S1 (suelo muy rígido con aceleraciones entre 500m/s a 1500 m/s); en tanto, la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S1 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G80, G140, 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 occasionando asentamiento en la edificación, teniendo más eficiencia que el aislador LRB.

Se aprecia en la tabla 28 y figura 16, 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, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4 (altamente sísmico), en un suelo tipo S2 (suelo intermedio con aceleraciones entre 180 m/s a 500 m/s); en tanto, la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G80,

G140, correspondiente a suelo S2 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40,G80,G140, 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 HSP G140 y MUR HTL 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 tabla 29 y figura 17, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4 (altamente sísmico), en un suelo tipo S3 (suelo blando con aceleraciones menores a 180 m/s); en tanto, la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S3, para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G80, G140, 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 tabla 30 y figura 18, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3 (altamente sísmico), en un suelo tipo S1 (suelos muy rígidos con aceleraciones entre a

500m/s a 1500 m/s); en tanto, la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S3, para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G80,G140, 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 un 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 tabla 31 y figura 19, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3 (altamente sísmico), en un suelo tipo S2 (suelos intermedio con aceleraciones entre a 180 m/s a 500 m/s); en tanto, la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S2, para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G80, G140, 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 un 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 tabla 32 y figura 20, 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 muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3 (altamente sísmico), en un suelo tipo S3 (suelos blandos con aceleraciones menores a 180 m/s); en tanto, la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G40, G80, G140, correspondiente a suelo S3, para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G40, G80, G140, 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 tabla 33 y figura 21, que la eficiencia del aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) es mejor en una estructura de sistema Pórtico en comparación a un sistema de muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z4 (altamente sísmico), en un suelo tipo S1 (suelos

muy rígidos con aceleraciones entre a 500m/s a 1500 m/s); en tanto, la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G30, G40, G45, correspondiente a suelo S1 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G30, G40, G45, 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 le 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%.

En la tabla 34 y figura 22, para la zona sísmica 4 y suelos intermedios (S2), el aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) no es aplicable para suelos intermedios.

En la tabla 35 y figura 23, 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 tabla 36 y figura 24, que la eficiencia del aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) es mejor en una estructura de sistema Pórtico en comparación a un sistema de albañilería, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3 (baja sismicidad), en un suelo tipo S1 (suelos muy rígidos con aceleraciones entre a 500m/s a 1500 m/s); en tanto, la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G30, G40, G45, correspondiente a suelo S1 y para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G30, G40, G45, 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 le 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 tabla 37 y figura 25, que la eficiencia del aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) es mejor en una estructura de sistema Pórtico en comparación a un sistema de muros, considerando un análisis realizado en la zona sísmica Z3 (altamente sísmico), en un suelo tipo S2 (suelos intermedios con aceleraciones entre a 180m/s a 500 m/s); en tanto, en la curva de eficiencia expresada en porcentaje con relación al número de pisos, para un pórtico hospital (PTC HSP) con módulos elásticos de G30, G40, G45, correspondiente a suelo S2, para pórticos de hotel (PTC HTL) con módulos elásticos de G30, G40, G45, 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%.

En la tabla 38 y figura 26, para la zona sísmica 3 y suelos intermedios (S3), el aislador tipo NRB (Aisladores de Caucho natural) no es aplicable para suelos blandos.

VI. 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 entre Hoteles y Hospitales (480 resultados), se tomaron en cuenta aisladores entre LRB, HDRB y NRB (1440); y, Módulos elásticos entre inferior, intermedio y superior (4320).

- 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.

VII. RECOMENDACIONES

- Se debe implementar sistemas de aislación en las estructuras esenciales, ya que con este sistema es probable que la edificación tenga una funcionalidad del 100% lo cual es indispensable en situaciones críticas de sismos severos para este tipo de estructuras.
- Emplear la Norma técnica E.031 y E.030, que permitan con más detalle poder analizar estructuras con aislación sísmica, de modo que se adecue a los parámetros y tipos de suelo que tiene nuestro país.
- Se debe implementar este sistema de protección sísmica en el diseño de las estructuras a futuro ya que nuestro país se encuentra en una zona altamente sísmica.
- Se recomienda seguir líneas de investigación relacionadas a los sistemas de protección para las edificaciones; con el fin de brindar mayor aporte a la ingeniería estructural.
- Se debería realizar mejor capacitación a los estudiantes de pregrado de ingeniería civil con respecto al uso de los aisladores sísmicos, junto con el estudio de la norma E.031. Aislamiento sísmico, debido que más adelante el uso de estos materiales serán muy importantes y necesarios para el diseño de una edificación en el Perú.

VIII. REFERENCIAS

- Aguiar, R., Almazán, J., Dechent, P. y Suárez, V. (2016). *Aisladores de base elastoméricos y FPS* (1ra ed). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <https://n9.cl/2iu8l>
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (3ra ed). Pearson Educación. <https://n9.cl/z9jvc>
- 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. <https://n9.cl/ak5az>
- Genatios, C. y Lafuente, M. (2016). Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. In *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*. (1ra ed). Banco de desarrollo de América Latina. <https://n9.cl/qywe>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. P. (2019). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativas y mixta*. (1ra ed). McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGraw-Hill/Interamericana editores S.A. de C.V. <https://n9.cl/65f>
- Léger, N., Rizzian, L. y Marchi, M. (2017). Reliability-based design optimization of reinforced concrete structures with elastomeric isolators. *Procedia Engineering*, 199, 1193–1198. <https://n9.cl/an0n1>
- 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. <https://n9.cl/koe31>
- 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. <https://n9.cl/j3k8>

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2019). *Decreto Supremo que aprueba la Norma Técnica E. 031 “Aislamiento Sísmico” y la incorpora al Índice del Reglamento Nacional de Edificaciones* (pp. 64–84). El Peruano. <https://n9.cl/sazrj>
- Pérez, I., Cibele, D., Guedes, E. y Castro, M. (2015). Uso simultaneo de nanocargas y microcargas en la RTV SR usada para cubrir aisladores. *Revista Científica de Ingeniería Energética*, 36(3), 263–269. <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v36n3/rie05315.pdf>
- Pérez, B. P. de J. (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]. <https://core.ac.uk/download/pdf/336876686.pdf>
- Pascal-Arévalo, C. M. y López-Almansa, F. (2018). Proposal for the future design code for seismic isolation of buildings in Colombia. *DYNA*, 85(207), 306–315. <https://n9.cl/3mnq3>
- Quispe, H. A. (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]. <https://n9.cl/7h1s>
- Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. (1ra ed.). Universidad Ricardo Palma: Vicerrectorado de Investigación. <https://n9.cl/h0xj>
- 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]. <https://n9.cl/00ot1>
- Taboada, D. E. y Fernández-Dávila, V. I. (2019). Seismic Response of a Five Story Building With Isolation System and Supplemental Viscous Dampers for Peruvian Seismicity. *TECNIA*, 29(2), 75–79.

<http://www.revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/712/1111>

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.

<https://n9.cl/mpokg>

Zellat, K. y Kadri, T. (2015). Influence of seismic isolation system on bridge responses.

Revista Ingeniería de Construcción, 30(3), 210–214.

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v30n3/art06.pdf>

IX. ANEXO

9.1. Matriz de consistencia

EFICIENCIA DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS EN LA REDUCCIÓN DE LA ACELERACIÓN SÍSMICA EN LA BASE DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A REGISTROS SISMICOS PERUANOS

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA TECNICA
<p>Problema General ¿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 en Perú?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿De qué manera 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? - ¿De qué manera los aisladores elastoméricos de caucho con alto amortiguamiento influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú? - ¿De qué manera los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú? 	<p>Objetivo general 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 en Perú.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar de qué manera 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. - Determinar de qué manera los aisladores elastoméricos de caucho con alto amortiguamiento influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú. - Determinar de qué manera los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento influye en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú. 	<p>Hipótesis general La eficiencia de los aisladores elastoméricos influyen significativamente en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo influye significativamente en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú. - Los aisladores elastoméricos de caucho con alto amortiguamiento influye significativamente en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú. - Los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento influye significativamente en la reducción de la aceleración sísmica en la base de edificaciones de concreto armado en Perú. 	<p><u>Independiente</u> Eficiencia de los aisladores elastoméricos</p> <p><u>Dependiente.</u> Reducción de la aceleración sísmica en la base de las edificaciones en Perú.</p>	<p><u>Independiente</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo. - Aisladores elastoméricos de caucho con alto amortiguamiento. - Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento. <p><u>Dependiente.</u></p> <p>Porcentaje de reducción de la aceleración sísmica en la base de las edificaciones en Perú.</p>	<p><u>Tipo</u> Aplicada</p> <p><u>Enfoque</u> Cuantitativo</p> <p><u>Alcance</u> Descriptivo y explicativo</p> <p><u>Diseño</u> No experimental de tipo transversal</p> <p><u>Población:</u> 720 edificaciones</p> <p><u>Muestra:</u> Tres grupos de 240 edificaciones</p> <p><u>Técnicas e instrumentos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de documentos - Internet - Observación - Hojas de cálculo