



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN EN EDIFICACIONES HOSPITALARIAS CON SISTEMA DE AISLAMIENTO TIPO LRB EN LA RESPUESTA SÍSMICA SEGÚN LA NTE.031

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Civil

Autora:

Baldeón Miranda, Dánica Paola

Asesor:

Tello Malpartida, Omart Demetrio

ORCID: 0000-0002-5043-6510

Jurado:

Cancho Zúñiga, Gerardo Enrique

Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany

Arévalo Vidal, Samir Augusto

Lima - Perú

2024



INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN EN EDIFICACIONES HOSPITALARIAS CON SISTEMA DE AISLAMIENTO TIPO LRB EN LA RESPUESTA SÍSMICA SEGÚN LA NTE.031

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	www.elperulegal.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	vsip.info Fuente de Internet	1%
6	Aguilar Chuquimia, Henry Antonio. "Respuesta Torsional de Edificios Sismicamente Aislados en el Peru. Comparacion de Metodos Estaticos y Dinamicos.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2020 Publicación	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN EN EDIFICACIONES HOSPITALARIAS CON SISTEMA DE AISLAMIENTO TIPO LRB EN LA RESPUESTA SÍSMICA SEGÚN LA NTE.031

Línea de Investigación:

Construcción Sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Territorio

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Civil

Autora:

Baldeón Miranda, Dánica Paola

Asesor:

Tello Malpartida, Omart Demetrio

ORCID: 0000-0002-5043-6510

Jurado:

Cancho Zúñiga, Gerardo Enrique

Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany

Arévalo Vidal, Samir Augusto

**Lima – Perú
2024**

Dedicatoria

Esta tesis va dedicada a mi madre por todo el apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de mi vida, por creer en mí y darme todo el amor que solo una madre te puede brindar, a mis seres queridos por su amor y confianza en este arduo camino, a dios por darme valor para enfrentar los caminos de la vida, espero que este solo sea el inicio de muchos más momentos felices.

Agradecimientos

A Dios por guiarme cada día para lograr ser mejor, por mantener a toda mi familia y a mis seres queridos con bienestar.

A mi querida familia Dania, Luis y Arsenio por darme siempre su apoyo y acompañarme a lo largo de este camino.

A mi asesor de tesis el ingeniero Omart Tello Malpartida por su paciencia que permitió que no menguara en el camino y lograr así concluir esta tesis.

A mi compañero de vida, por estar en los momentos felices y de aprendizaje.

A mis amigos Franco, Waldir, Giancarlo y Sandra por todo el apoyo incondicional.

A los ingenieros Ludwing Echevarria y Mario Rivera por el apoyo en la revisión de esta tesis.

Índice

RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Descripción y formulación del problema	14
1.1.1 Problema general.....	15
1.1.2 Problemas específicos	16
1.2 Antecedentes.....	16
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
1.4 Justificación	20
1.5 Hipótesis	21
1.5.1 Hipótesis general	21
1.5.2 Hipótesis específicas	21
II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Normatividad.....	22
2.2 Definiciones.....	23
2.3 Aislamiento Sísmico.....	24
2.3.1 Aisladores Elastoméricos	25
2.4 Propiedades que influyen en el comportamiento de edificaciones aisladas	28
2.5 Criterios para el análisis y diseño de edificaciones aisladas	28
2.5.1 Representación de fuerzas sísmicas	28
2.5.2 Correcciones y escalamientos de registros.....	31
2.5.3 Tipos de análisis a utilizar para Estructuras Aisladas	32

2.5.4	Fuerzas y Desplazamientos Laterales Mínimos	35
2.5.5	Regularidad estructural	37
2.5.6	Consideraciones adicionales	38
III.	MÉTODO	42
3.1	Tipo de investigación.....	42
3.2	Ámbito temporal y espacial.....	42
3.3	Variables.....	42
3.3.1	Variable independiente:.....	42
3.3.2	Variable dependiente:.....	42
3.4	Población y muestra.....	43
3.4.1	Población.....	43
3.4.2	Muestra.....	43
3.5	Instrumentos	45
3.6	Procedimientos	46
3.6.1	Estructuración de los casos de estudio	49
3.6.2	Predimensionamiento	50
3.6.3	Análisis sísmico de casos de estudio	51
3.6.4	Análisis estático preliminar	52
3.6.5	Análisis modal espectral preliminar	55
3.6.6	Diseño definitivo del sistema de aislamiento	62
3.6.7	Análisis tiempo historia.....	68
3.6.8	Parámetros finales para aisladores	78
3.7	Análisis de datos.....	80
IV.	RESULTADOS.....	81
4.1	Derivas máximas	81

4.2	Aceleraciones máximas	84
4.3	Fuerza lateral de la subestructura y del sistema de aislamiento (Vb).....	88
4.4	Fuerza lateral de la superestructura (Vs)	91
4.5	Desplazamiento máximo del sistema de aislamiento (DM)	95
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	99
5.1	Derivas máximas	99
5.2	Aceleraciones máximas	100
5.3	Fuerza lateral de la subestructura y del sistema de aislamiento (Vb).....	100
5.4	Fuerza Lateral de la superestructura (Vs)	101
5.5	Desplazamiento máximo del sistema de aislamiento (DM)	102
VI.	CONCLUSIONES	103
6.1	Conclusiones específicas	103
6.1.1	Derivas máximas	103
6.1.2	Aceleraciones máximas.....	103
6.1.3	Fuerza lateral de la subestructura y del sistema de aislamiento (Vb)	104
6.1.4	Fuerza lateral de la superestructura (Vs).....	104
6.1.5	Desplazamiento máximo del sistema de aislamiento (DM).....	105
6.2	Conclusión general	105
VII.	RECOMENDACIONES.....	106
7.1	Recomendaciones generales	106
7.2	Recomendaciones para futuras líneas de investigación.....	106
VIII.	REFERENCIAS.....	107
IX.	ANEXOS	110

Índice de Tablas

Tabla 1 Periodo fundamental del estrato.....	29
Tabla 2 Factor de amortiguamiento BM.....	32
Tabla 3 Fuerzas del edificio aislado.....	37
Tabla 4 Desplazamiento del sistema de aislamiento.....	37
Tabla 5 Desplazamiento del sistema de aislamiento.....	38
Tabla 6 Factor es de modificación según NTE E.031.....	39
Tabla 7 Parámetros de respuestas desfavorables	40
Tabla 8 Limites según metodología HAZUS.....	41
Tabla 9 Sobrecarga considerada para modelos	49
Tabla 10 Periodos fundamentales de base fija.....	52
Tabla 11 Masas participativas de modelos con base aislada	53
Tabla 12 Parámetros nominales del análisis estático	55
Tabla 13 Cargas máximas, mínimos y promedio de los aisladores tipo LRB	59
Tabla 14 Parámetros lineales de los aisladores LRB	59
Tabla 15 Fuerzas de restitución de los modelos	60
Tabla 16 Comparación de fuerzas de cortante mínimas	61
Tabla 17 Fuerzas de activación del sistema de aislamiento.....	62
Tabla 18 Propiedades iniciales de los dispositivos tipo LRB para el modelo R4x8.p5.....	63
Tabla 19 Parámetros no lineales de los dispositivos tipo LRB para el modelo R4x8.p5	63
Tabla 20 Factores de modificación para los dispositivos tipo LRB.	65
Tabla 21 Parámetros inelásticos modificados con límite superior R4x8.p5.	66
Tabla 22 Parámetros inelásticos modificados con límite inferior R4x8.p5.	66
Tabla 23 Fuerzas y desplazamientos mínimos E.031- modal espectral R4x8.p5	66

Tabla 24 Fuerzas laterales con propiedades de límite superior – análisis modal espectral	
R4x8.p5	67
Tabla 25 Desplazamiento con propiedades de límite inferior – análisis modal espectral	
R4x8.p5	67
Tabla 26 Aceleración y deriva con propiedades de límite superior – análisis modal espectral	
.....	67
Tabla 27 Cuadro resumen de fuerzas y desplazamientos – análisis modal espectral	68
Tabla 28 Pares de registros sísmicos considerados.....	69
Tabla 29 Deriva promedio máximas modelo R4x8xp5 - TH	72
Tabla 30 Resumen de derivas promedio máximas - TH.....	73
Tabla 31 Aceleraciones promedio máximas modelo R4x4xp5 – TH	74
Tabla 32 Resumen de aceleraciones promedio máximas azotea - TH.....	75
Tabla 33 Resumen de aceleraciones promedio máximas 3er y 5to nivel - TH.....	76
Tabla 34 Resumen de DM Y DTM - TH.....	77
Tabla 35 Resumen de Vb - TH	77
Tabla 36 Resumen de Vs - TH.....	78
Tabla 37 Resumen de propiedades de los aisladores	79
Tabla 38 Resumen de propiedades de los aisladores	79
Tabla 39 Resumen de derivas máximas	81
Tabla 40 Comparativo de variación de altura y en planta para deriva máxima TH	83
Tabla 41 Resumen de aceleraciones máximas	84
Tabla 42 Comparativo de variación de altura y en planta para aceleración máxima TH	86
Tabla 43 Resumen de fuerzas laterales de la subestructura máximas.....	88
Tabla 44 Comparativo de variación de altura y en planta para fuerzas laterales de la subestructura	90

Tabla 45 Resumen de fuerzas laterales de las superestructuras máximas	91
Tabla 46 Comparativo de variación de altura y en planta para fuerzas laterales de la superestructura	93
Tabla 47 Resumen de los desplazamientos máximos	95
Tabla 48 Comparativo de variación de altura y en planta para desplazamiento máximo.....	97

Índice de Figuras

Figura 1 Zonas de aislamiento sísmico.....	24
Figura 2 Sección transversal de un aislador tipo LRB.....	26
Figura 3 Modelo bilineal de aislador tipo LRB	27
Figura 4 Plantas típicas de los modelos con planta regular	44
Figura 5 Plantas típicas de los modelos con planta con esquinas entrantes	45
Figura 6 Mapa conceptual de predimensionamiento de aislamiento sísmico	47
Figura 7 Mapa conceptual de diseño de aislamiento sísmico.....	48
Figura 8 Distribución en planta del modelo R4x4x3p y R4x4x5p	56
Figura 9 Distribución en planta del modelo R4x8x3p y R4x8x5p	56
Figura 10 Distribución en planta del modelo R4x12x3p y R4x12x5p	56
Figura 11 Distribución en planta del modelo E4x4x3p y E4x4x5p.....	57
Figura 12 Distribución en planta del modelo E4x8x3p	57
Figura 13 Distribución en planta del modelo E4x8x5p	57
Figura 14 Distribución en planta del modelo E4x12x3p	58
Figura 15 Distribución en planta del modelo E4x12x5p	58
Figura 16 Modelos no lineales nominales de los dispositivos tipo LRB para el modelo R4x8.p5.....	64
Figura 17 Constitutiva global nominal del sistema de aislamiento para el modelo R4x8.p5.	64
Figura 18 Modelo bilineal del sistema con propiedades modificadas máximas, mínimas y nominales para el modelo R4x8.p5.....	65
Figura 19 Registro de aceleración y velocidad para las componentes horizontales E-O y N-S del registro Lima 1974 (Software SeismoMatch).....	70
Figura 20 Registro de aceleración, velocidad y desplazamiento corregido y filtrado para la componente horizontal E-O del registro Lima 1974 (Software SeismoSignal)	70

Figura 21 Espectro de pseudo-aceleraciones del registro sísmico LIM74 escalado con el Software SeismoMatch	71
Figura 22 Espectro de desplazamiento espectral del registro sísmico LIM74	71
Figura 23 Deriva promedio máximas promedio modelo R4x4xp5 – TH.....	73
Figura 24 Aceleraciones promedio máximas modelo R4x4.p5 – TH.....	75
Figura 25 Cuadro comparativo de deriva máxima – (X)	82
Figura 26 Cuadro comparativo de deriva máxima – (Y)	82
Figura 27 Cuadro comparativo de aceleración máxima – (X).....	85
Figura 28 Cuadro comparativo de aceleración máxima – (Y).....	86
Figura 29 Cuadro comparativo de fuerzas laterales de la subestructura – (X).....	89
Figura 30 Cuadro comparativo de fuerzas laterales de la subestructura – (Y).....	89
Figura 31 Cuadro comparativo de fuerzas laterales de la superestructura – (X).....	92
Figura 32 Cuadro comparativo de fuerzas laterales de la superestructura – (Y).....	93
Figura 33 Cuadro comparativo de desplazamientos máximos – (X).....	96
Figura 34 Cuadro comparativo de desplazamientos máximos – (Y).....	96

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar en qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento en la base usando dispositivos tipo LRB influye en la respuesta sísmica según la NTE E.031 por ende, se varió la configuración en planta y en altura, tomando así para el estudio 12 modelos. El tipo de investigación fue de enfoque cuantitativo de nivel explicativo, la muestra estuvo constituida por estructuras del tipo hospitalarias, ubicado en el distrito de San Martín de Porres, departamento de Lima en el Perú. El sistema estructural fue aporticado con una zonificación Z4 y suelo S1. Para el análisis de estas edificaciones se utilizaron métodos estáticos para el predimensionamiento como para un análisis preliminar que nos sirvió para una verificación posterior, luego se realizó el análisis y el diseño mediante los análisis tiempo historia y modal espectral. Al término de la evaluación se obtuvo que la deriva máxima fue del orden de 0.003 y la aceleración de entrepiso alcanzo 0.3g en el modelo E4x4.5p, obteniéndose valores dentro del límite establecido por la metodología HAZUS y la NTE E.031. Finalmente se determinó que la forma en planta 1:1 presenta mayores derivas máximas, aceleraciones máximas y los modelos con forma en planta 1:3 presentan mayores fuerzas laterales de la superestructura, fuerzas laterales de la subestructura y desplazamientos máximos. Determinando así que los modelos con forma en planta 1:2 presenta mejor comportamiento sísmico porque presenta menores variaciones al alternar la altura y la forma en planta.

Palabras clave: análisis tiempo historia, hospitales, ingeniería sísmica.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine to what extent the configuration in hospital buildings with an isolation system at the base using LRB type devices influences the seismic response according to NTE E.031, therefore, the configuration was varied in plan and height, thus taking 12 models for the study. The type of research was a quantitative approach with an explanatory level, the sample consisted of hospital-type structures, located in the district of San Martín de Porres, department of Lima in Peru. The structural system was framed with a Z4 zoning and S1 floor. For the analysis of these buildings, static methods were used for pre-sizing as well as for a preliminary analysis that served us for subsequent verification, then the analysis and design were carried out using time history and modal spectral analyses. At the end of the evaluation, it was obtained that the maximum drift was of the order of 0.003 and the mezzanine acceleration reached 0.3g in the E4x4.5p model, obtaining values within the limit established by the HAZUS methodology and the NTE E.031. Finally, it was determined that the 1:1 plan shape presents greater maximum drifts, maximum accelerations and the models with a 1:3 plan shape present greater lateral forces of the superstructure, lateral forces of the substructure and maximum displacements, thus, determining that models with a 1:2 plan shape present better seismic behavior because they present fewer variations when alternating height and plan shape.

Keywords: time history analysis, hospitals, seismic engineering.

I. INTRODUCCIÓN

La inseguridad generada en la población por los terremotos ha causado la búsqueda de un sistema de protección eficiente que sea capaz de mitigar o acabar con las pérdidas económicas y humanas producidas por los daños en las edificaciones, en esta búsqueda se han inventado numerosos dispositivos de aislamiento sísmico y amortiguamiento que permiten asegurar un comportamiento adecuado en las edificaciones durante un terremoto, transmitiendo así seguridad y tranquilidad en sus ocupantes. (Méndez, 2013)

El aislamiento sísmico permite el buen comportamiento de las edificaciones durante un terremoto, estos son utilizados en edificaciones esenciales como los hospitales ya que con su operatividad continua permitirán salvar vidas no solamente de los heridos sino también serán usados como refugios. (Organización Panamericana de la Salud, 2009)

El aislamiento sísmico se podría explicar como la separación de una edificación del movimiento sísmico transmitido por el suelo. Para conseguir esta separación, el sistema de aislamiento sísmico consta de diferentes dispositivos entre ellos los aisladores, estos se distribuyen estratégicamente en lugares específicos de la estructura. Entre los dispositivos usados para el aislamiento sísmico en la base se cuenta con los aisladores flexibles y los aisladores de fricción deslizantes, combinados con dispositivos secundarios como deslizadores. En Perú se destaca el uso del aislador sísmico de base del tipo elastomérico con núcleo de plomo (LRB). (Méndez, 2013; Oviedo y Duque, 2006)

Tesis como las de Olivos (2018), Zanelli y Paredes (2019), Portillo (2019) demuestran que gracias al sistema de aislamiento sísmico empleado en hospitales estos logran una respuesta estructural deseada, es decir luego de ocurrido el sismo se mantendrán operativos para brindar servicio y refugio luego de un sismo, esto se logra medir en función de las restricciones estipuladas en la Norma Técnica E.031 teniendo en cuenta los siguientes puntos: las derivas máximas, aceleraciones de entrepiso, fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema

de aislamiento sísmico, fuerza cortante en el sistema de aislamiento sísmico, desplazamiento en la base aislada, entre otras.

Entre estos puntos se podría destacar a las derivas y las aceleraciones de entre piso, ya que estas determinan según la metodología HAZUS si se presentarían daños en elementos no estructurales tales como equipos vitales, instrumentos médicos, vitrinas, estantes, ventanas, etc. Siendo estos muy importantes en edificaciones del tipo hospitalarias ya que vidas humanas se verían afectadas si estos quedaran deteriorados o si dejaran de funcionar, adicionando esto el costo de la reposición de estos elementos puede sobrepasar hasta el 90% del costo total de inversión del hospital. (Olivos, 2018)

Hay diversos factores que, según la configuración de la edificación, tanto en planta como en altura, podría afectar a la respuesta sísmica de la edificación. Esto se ve reflejado en tesis como las de Aguirre y Huallanca (2016) y Aguilar (2018) donde se demuestra que hay configuraciones que presentan mejores respuestas que otras, llegando estas a conclusiones muy específicas con respecto a la esbeltez y la excentricidad presentes en las edificaciones.

Esta tesis busca contribuir en el conocimiento sobre la respuesta sísmica de estructuras de tipo hospitalarias con aislamiento en la base usando aisladores tipo LRB. Para conseguir esto, el estudio se basará en la influencia de la configuración en planta como en altura, respetando la Norma Técnica E.031, ya que muchas investigaciones señalan que estos parámetros generan variaciones importantes en la respuesta sísmica, provocando que estas tengan un comportamiento diferente a lo esperado.

1.1 Descripción y formulación del problema

Los sismos son consecuencia de una rápida liberación de energía que posteriormente se propagan en forma de ondas desde su origen en el interior de la tierra, estas al llegar a la superficie son registradas por las estaciones sísmicas y percibidas por los habitantes de la localidad afectada. El origen de los sismos en el Perú se debe principalmente al proceso de

convergencia de subducción de la placa de Nazca (oceánica) que se desliza por debajo de la placa Sudamericana (continental), estas placas están siempre en constante movimiento, pero cuando se golpean entre sí se almacena una cantidad de energía importante y al ser liberada se ocasiona un movimiento brusco entre ellas, esta energía surge en la superficie y es en ese momento cuando se producen los sismos, que pueden ser de diversas magnitudes, focos o profundidades, este tipo de sismo es llamado tectónico y ocasiona gran porcentaje de los terremotos. (Herráiz, 1997; Norabuena et al., 1998)

En el Perú, según la Norma Técnica E.030, las edificaciones esenciales tales como hospitales que encuentra dentro de las zonas sísmicas tres y cuatro deben ser construidas con aislamiento sísmico conforme a los lineamientos de la Norma Técnica E.031. Además, se pueden usar como complemento normas extranjeras como ASCE/SEI 7-16, FEMA 356 y NCh2745.

Si bien la normativa vigente para hospitales con sistema de aislamiento sísmico E.031 presenta un cuadro donde especifica que estas edificaciones no deben presentar irregularidades extremas para una zonificación 4, si nos permite tener irregularidades que no sean extremas como la torsional o de esquinas entrantes, es así que esta tesis tiene como objetivo determinar numéricamente como la respuesta sísmica de un hospital aislado en la base se ve afectado por estas condiciones en planta, adicionalmente se modificaran también el número de pisos, buscando así aportar a la línea de investigación sobre el comportamiento de estructuras aisladas del tipo hospitalarias. Todo esto se hará para una edificación hospitalaria con sistema aporticado con una zonificación 4, suelo S1 y se utilizaran aisladores del tipo LRB.

1.1.1 Problema general

¿En qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la respuesta sísmica según la NTE E.031?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿De qué modo la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la fuerza cortante total en el sistema de aislamiento sísmico según la NTE E.031?
- b) ¿Hasta qué punto la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en el desplazamiento en la base aislada según la NTE E.031?
- c) ¿Como la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en las derivas máximas según la NTE E.031?
- d) ¿En qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la aceleración de entrepiso según la NTE E.031?
- e) ¿De qué modo la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico según la NTE E.031?

1.2 Antecedentes

Los sistemas de aislamiento sísmico han sido muy usados a nivel mundial, en especial para edificaciones esenciales como los son los hospitales, debido a que este sistema mejora la respuesta sísmica de estas edificaciones, logrando así que estas tengan el menor daño posible, esto en búsqueda de que estos edificios sean usados no solo para curar a los heridos sino también como refugios luego de un terremoto. Ello ha generado que muchos autores se interesen del tema, buscando aportar mejores dispositivos y mejores configuraciones para optimizar y hacer que el riesgo de fallo sea el menor posible.

Algunos de los autores serán mencionados a continuación, mostrando así un pequeño resumen de sus objetivos, método, resultados, conclusiones y aportes. Enfocando estos al tema de investigación de la presente tesis.

Olivos (2018), en su investigación titulada *Protección sísmica de edificaciones hospitalarias peruanas por aislamiento sísmico*. Tuvo como objetivo aportar al conocimiento de la seguridad sísmica en el Perú no solo en la estructura principal sino también en elementos no estructurales. Fue un estudio de tipo cuantitativo con alcance explicativo, la población de estudio comprende a las edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento en el Perú, la muestra fue del tipo no probabilístico; los instrumentos empleados fueron fichas de observación directa. Los principales resultados que se obtuvieron fueron una fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico menor en un 30% a 40% en comparación a un sistema de base fija, también se obtuvieron derivas máximas en el orden de 2.6‰ y 3.8‰ para el sismo de diseño (DBE) y el sismo máximo creíble (MCE), los cuales son menores a los estipulados por la NTE E.031. Se concluyó que la respuesta estructural es la deseada para edificaciones de este tipo y que luego de un sismo este se mantendrá de manera operativa.

Portillo (2019), en su investigación titulada *Diseño de un hospital con aislamiento sísmico según la normatividad peruana*. Tuvo como objetivo explicar y aplicar los conceptos y normativas vigentes para el análisis de edificaciones aisladas en la base. Fue un estudio de tipo cuantitativo con alcance explicativo, la población de estudio comprende a las edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento en el Perú, la muestra fue del tipo no probabilístico; los instrumentos empleados fueron fichas de observación directa. Los principales resultados que se obtuvieron fueron máximas aceleraciones de entrepiso tuvieron valores que oscilan entre 0.18 y 0.25g, cumpliendo así las recomendaciones de la metodología HAZUS para edificaciones hospitalarias, donde se recomiendan un máximo de 0.3g logrando así que no se produzcan daños significativos en elementos no estructurales, los resultados lograron cumplir los requisitos mínimos de derivas y resistencia para un sismo de diseño de 2475 años. Se concluyó que el uso de aislamiento en base cumplió con todo lo esperado, logrando así una

estructura que luego de un eventual sismo lograría mantenerse en total funcionalidad, logrando así su ocupación inmediata.

Zanelli y Paredes (2019), en su investigación titulada *Diseño estructural de un pabellón de hospital con aisladores sísmicos*. Tuvo como objetivo elaborar el diseño estructural de una edificación hospitalaria. Fue un estudio de tipo cuantitativo con alcance explicativo, la población de estudio comprende a las edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento en el Perú, la muestra fue del tipo no probabilístico; los instrumentos empleados fueron fichas de observación directa. Los principales resultados que se obtuvieron fueron que luego de un sismo extremos de 2475 años la edificación solo presentaría pequeñas grietas y algunas fisuras en los tabiques, se obtuvieron derivas de entre piso con valores de 2.7‰ para el análisis Tiempo-Historia no lineal y de 3.1 ‰ para el análisis modal espectral, también se obtuvieron aceleraciones de piso de 0.30 g para el análisis Tiempo-Historia no lineal y de 0.15g para el análisis modal espectral, siendo estos, logrando así controlar el daño estructural y no estructural, según lo recomendado por la metodología HAZUS. Se concluyó que las edificaciones del tipo hospitalarias aisladas en la base, diseñadas de manera correcta logran mantener la filosofía de diseño donde se busca que estos se mantengan operacionales luego de un evento sísmico.

Aguilar (2018), en su investigación titulada *Respuesta torsional de edificios sísmicamente aislados en el Perú. Comparación de métodos estáticos y dinámicos*. Tuvo como objetivo determinar las respuestas sísmicas de edificaciones del tipo hospitalarias al variar las excentricidades bidireccionales del centro de masa en la superestructura, logrando así determinar cuánto influyen estos en el comportamiento de las estructuras, utilizando análisis estáticos y dinámicos de acuerdo a la normativa sísmica vigente para el Perú. Fue un estudio de tipo cuantitativo con alcance explicativo, la población de estudio comprende a las edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento en el Perú, la muestra fue del tipo no

probabilístico; los instrumentos empleados fueron fichas de observación directa. Los principales resultados que se obtuvieron fueron que para los edificios con relación de aspecto más alargada presentan mayores valores de aceleración de piso con respecto de los edificios menos alargados, ello para excentricidades de 5% y 10%; para los edificios que no posee excentricidad ($e=0\%$) presentan mayores aceleraciones de entrepiso en los casos con relaciones de aspecto 1:1. Se concluyó que se estiman mayores aceleraciones de entrepiso para edificaciones irregulares y esta se verá incrementada por la altura.

Aguirre y Huallanca (2016), en su investigación titulada *Influencia de la Esbeltez en el comportamiento estructural de edificios con Aislamiento en la base*. Tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la esbeltez en el comportamiento estructural de los edificios hospitalarios con aislamiento en base. Fue un estudio de tipo cuantitativo con alcance explicativo, la población de estudio comprende a las edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento en el Perú, la muestra fue del tipo no probabilístico; los instrumentos empleados fueron fichas de observación directa. Los principales resultados que se obtuvieron fueron que para edificios con esbeltez mayor e igual a 3 se presentan mayores probabilidades de fuerzas de tracción en la base, siendo estas las más desfavorables para el sistema de aislamiento sísmico, ya que los aisladores no están diseñados para este tipo de situaciones. Se concluyó que los aisladores son dispositivos que mejoran las respuestas sísmicas de las edificaciones del tipo hospitalarias ya que estas disminuyen derivas y aceleraciones de piso, pese a estos hay que tener mucho cuidado al aumentar la esbeltez de este tipo de edificaciones ya que los dispositivos del tipo elastomérico se verían gravemente afectados por las fuerzas de tracción.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar en qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la respuesta sísmica según la NTE E.031.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar en qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la fuerza cortante total en el sistema de aislamiento sísmico según la NTE E.031
- b) Cuantificar en qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en el desplazamiento en la base aislada según la NTE E.031
- c) Evaluar en qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en las derivas máximas según la NTE E.031
- d) Analizar en qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la aceleración de entrepiso según la NTE E.031
- e) Calcular en qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico según la NTE E.031

1.4 Justificación

Se busca que las edificaciones del tipo hospitalarias luego de un sismo tengan un mejor desempeño al de otro tipo de edificaciones ya que en estas se busca no solamente que se mantengan bien estructuralmente sino que también los elementos no estructurales se mantengan en la mejor condición posible para que permitan su continua funcionalidad, esta tesis busca así aportar conocimiento para que los estructuralistas tomen las mejores decisiones con respecto a la forma en planta y altura de sus edificaciones del tipo hospitalarias, teniendo una visión más amplia de lo que se espera al variar estas. Logrando que luego de un terremoto estas edificaciones se mantengan en total funcionalidad, los mayores beneficiarios serán las personas que acudirán a estas no solamente por salud sino también como refugio luego de la pérdida lamentable de sus viviendas.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye significativamente en la respuesta sísmica según la NTE.031.

1.5.2 Hipótesis específicas

- a) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye significativamente en la fuerza cortante total en el sistema de aislamiento sísmico según la NTE E.031
- b) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye significativamente en el desplazamiento en la base aislada según la NTE E.031
- c) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye significativamente en las derivas máximas según la NTE E.031
- d) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye significativamente en la aceleración de entrepiso según la NTE E.031
- e) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye significativamente en la fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico según la NTE E.031

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Normatividad

Las normas y códigos que se utilizaron para el análisis y diseño de edificaciones con aislamiento sísmico en la presente tesis serán descritas a continuación:

Norma Técnica E.031

El Perú cuenta desde el año 2019 con la Norma Técnica E.031 donde se especifican los lineamientos mínimos permitidos para el análisis de edificaciones con aislamiento sísmico, esta norma está basada en gran parte en el código norteamericano ASCE/SEI 7, como muchas normas latinoamericanas vigentes.

Según la NTE E.031 la finalidad de esta norma es de lograr el mejor desempeño de cualquier tipo de estructura con sistema de aislamiento sísmico, también busca que las edificaciones del tipo hospitalarias se mantengan continua operatividad luego de un evento sísmico.

Norma Técnica E.030

Esta investigación se llevará a cabo con la Norma Técnica E.030 publicada el año 2018, donde se adiciona con respecto a su anterior versión lineamientos mínimos para el diseño sismorresistente de edificaciones con sistema de aislamiento. Esto se logra observar en el artículo 15, 17 y 23.

En el artículo 15 se plantea el factor de uso para edificaciones hospitalarias aisladas en la base, donde se utilizará un $U=1$ como mínimo; en el artículo 17 para una edificación hospitalaria ubicada en la zona 4 especifica el uso de aislamiento sísmico con cualquier tipo de sistema estructural y en el artículo 23 se especifica que toda edificación con aislamiento sísmico debe cumplir las disposiciones del capítulo II de la norma y se permite consultar y aplicar los lineamientos del código ASCE/SEI 7 vigente en caso de ser necesario y aplicable.

2.2 Definiciones

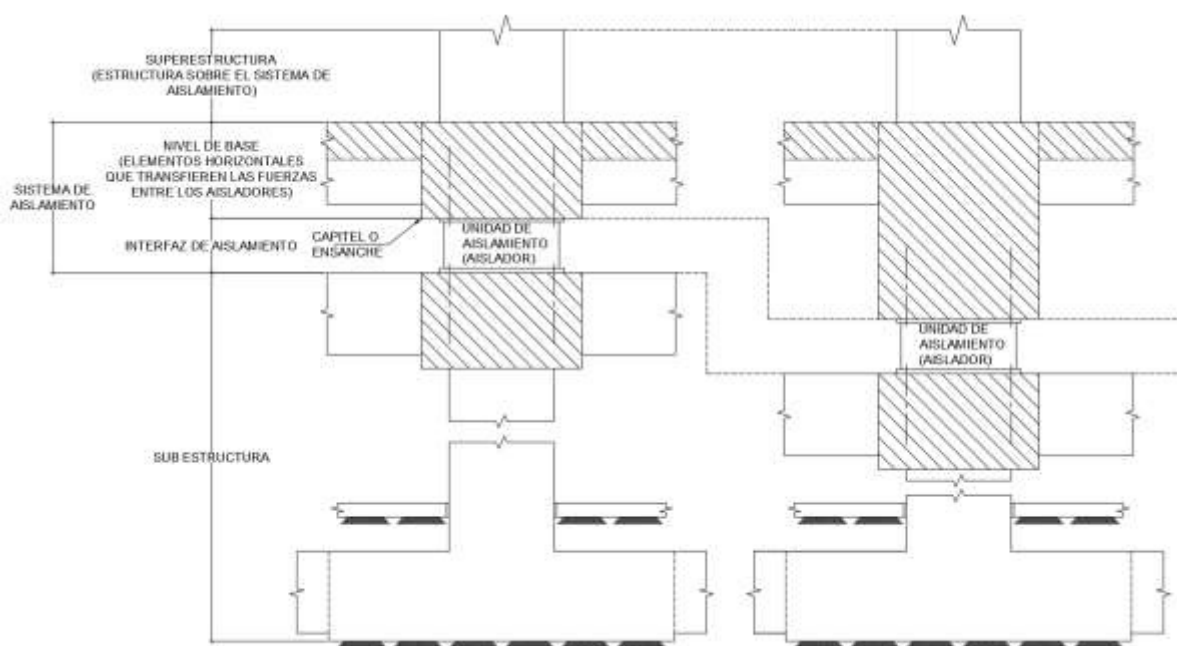
La NTE E.031 establece algunas definiciones importantes que necesitaremos para el entendimiento de esta investigación, estas serán descritas a continuación:

- **Aislador:** Elemento estructural que se encuentra en el sistema de aislamiento, este es verticalmente rígido y horizontalmente flexible. Este tiene la propiedad de permitir grandes deformaciones laterales durante eventos sísmicos.
- **Amortiguamiento efectivo (β_M):** El valor del amortiguamiento viscoso equivalente correspondiente a la energía disipada en la respuesta cíclica del sistema de aislamiento
- **Desplazamiento traslacional (D_M):** Desplazamiento lateral máximo en la dirección de análisis correspondiente al centro de rigidez del sistema de aislamiento, a este valor no se le adicionara el desplazamiento generado por la torsión natural y accidental.
- **Desplazamiento total (D_{TM}):** Es el desplazamiento donde se incluirá el desplazamiento lateral máximo más el desplazamiento generado por la torsión natural y accidental. Este valor nos ayudara para determinar la estabilidad de los aisladores, separación de juntas y para ensayos prototipo.
- **Sismo de diseño (DBE):** Sismo con un tiempo de retorno de 475 años, asociado a una vida útil de 50 años con una probabilidad de exceder las aceleraciones sísmicas de 10%.
- **Sismo máximo considerado (SMC):** Sismo con un tiempo de retorno de 2475 años, asociado a una vida útil de 50 años con una probabilidad de exceder las aceleraciones sísmicas de 2%. El espectro de pseudo-aceleraciones es equivalente a 1.5 (DBE).
- **Sistema de aislamiento sísmico:** Se conforma por todos aquellos elementos estructurales que transfieren fuerzas al sistema de aislamiento como vigas, losas, capiteles, a estos se les incluye los aisladores y sus conexiones.

En la Figura 1 se observa las zonas en las que se divide una edificación aislada: estructura sobre sistema de aislamiento (superestructura), sistema de aislamiento (aquí se encuentran los elementos estructurales que transfieren las fuerzas entre los aisladores y los aisladores) y la subestructura.

Figura 1

Zonas de aislamiento sísmico



Nota: En la figura se los tres niveles en los que se divide una estructura con sistema de aislamiento en la base. Tomada de la NTE E.031, 2019.

2.3 Aislamiento sísmico

El aislamiento sísmico no es más que la separación de una edificación del movimiento sísmico transmitido por el suelo. Para conseguir esta separación, el sistema de aislamiento sísmico consta de diferentes dispositivos entre ellos los aisladores, estos se colocarán estratégicamente en lugares específicos de la estructura. La elección de la ubicación de los dispositivos a utilizar será esencial ya que estos nos permitirán una correcta transmisión de fuerzas durante un evento sísmico. Entre los dispositivos más usados para el aislamiento

sísmico en la base se encuentran los aisladores de núcleo de plomo, combinados con dispositivos secundarios como deslizadores. (Méndez, 2013)

Un aislamiento sísmico correcto debería ser tan eficaz como un sistema convencional bajo cargas de servicio, tener la suficiente restitución lateral para regresar a su posición original luego de un evento sísmico y cumplir con la disipación de energía necesaria para controlar los movimientos con el propósito de no dañar elementos no estructurales. (Méndez, 2013)

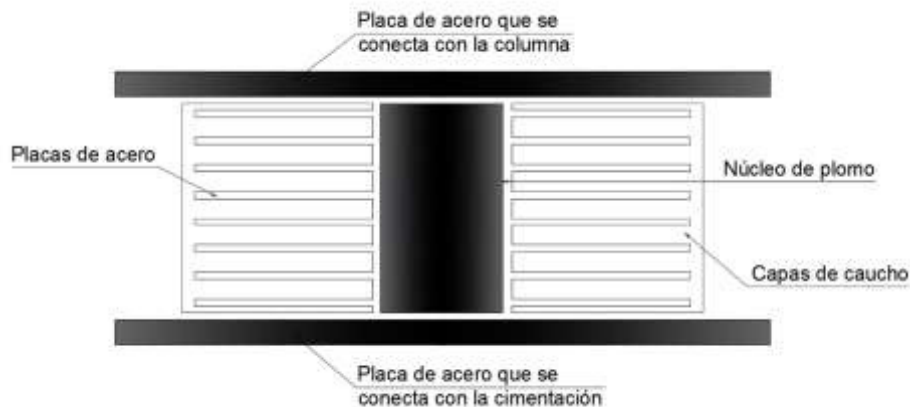
2.3.1 Aisladores Elastoméricos

Los aisladores elastoméricos se componen de láminas intercaladas de elastómeros y acero. Debido a los componentes de este tipo de aisladores estos presentan desgaste a lo largo del tiempo, ya sea por temperatura, envejecimiento, amplitud de movimiento y frecuencia de movimiento. Este tipo de aisladores presenta flexibilidad lateral para permitir el desplazamiento de la estructura luego de un movimiento sísmico con respecto al suelo y rigidez vertical para la correcta transmisión de fuerzas axiales. Existen muchos tipos de aisladores elastoméricos, entre los más representativos encontramos a los de bajo amortiguamiento (LDRB), con núcleo de plomo (LRB) y de alto amortiguamiento (HDRB). (Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción [CDT], 2011)

A. Aislador Elastomérico de Núcleo de Plomo (LRB). Los aisladores elastoméricos tipo LRB presentan un núcleo de plomo, que se encuentra en el centro, este núcleo permite alcanzar un nivel de amortiguamiento de 25 al 30%. Cuando sucede la deformación debido a un evento sísmico el núcleo de plomo fluye logrando así disipar la energía. Posterior al evento sísmico la restitución lateral que ofrece la goma del aislador lo vuelve a su posición original y el núcleo de plomo se cristaliza nuevamente, esperando el próximo evento sísmico (CDT, 2011).

Figura 2

Sección transversal de un aislador tipo LRB



Nota: En esta imagen se puede observar principales componentes de los aisladores tipo LRB.

Tomada de Solórzano, 2019.

Según CDT (2011) y Mendo (2015) se recopilara algunas de las ventajas y desventajas del aislador elastomérico tipo LRB.

Beneficios:

- Este tipo de aisladores ha sido probado en numerosos eventos sísmicos lo que los vuelve dispositivos confiables.
- Su propiedad de restitución lateral hace que estos aisladores logren aportar a la estructura operatividad continua.
- El núcleo de plomo posee propiedades que no varían significativamente durante el periodo de vida esperada para las estructuras.

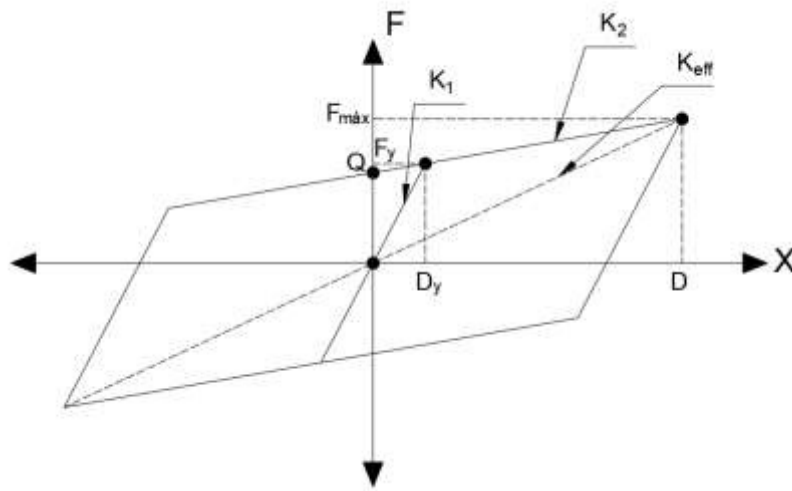
Desventajas

- La variación de temperatura y otros efectos ambientales pueden afectar al aislador significativamente.
- El historial de carga puede cambiar las propiedades del núcleo de plomo.

Para el cálculo de propiedades lineales del aislador deberemos apoyarnos en la curva histerética de los aisladores tipo LRB estos podrán ser representados mediante un modelo bilineal que se observa en la Figura 3. Donde K_1 y K_2 son la rigidez inicial y la rigidez post fluencia, F_y y D_y son la fuerza de fluencia y el desplazamiento de fluencia, Q es la resistencia característica y A_B es el área de ciclo de histéresis. (Zanelli y Paredes, 2019)

Figura 3

Modelo bilineal de aislador tipo LRB



Nota: Modelo bilineal de los aisladores elastoméricos tipo LRB. Tomada de Zanelli y Paredes, 2019.

Del modelo bilineal se puede inferir las siguientes ecuaciones:

$$F_y = K_1 D_y$$

$$F_y = Q + K_2 D_y$$

$$F_{max} = F_y + K_2 (D_{max} - D_y)$$

$$A_B = 4Q(D_{max} - D_y)$$

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D}$$

$$\beta_{eff} = \frac{W_d}{2\pi K_{eff} D^2}$$

2.4 Propiedades que influyen en el comportamiento de edificaciones aisladas

Según investigaciones como las de Aguilar (2018), Aguirre y Huallanca (2016), Mendo (2015) y Solórzano (2019) las edificaciones con sistema de aislamiento en base suelen presentar respuestas sísmicas desfavorables según diversos factores, nombraremos algunos a continuación:

- Para edificios con esbeltez mayor e igual a 3 tienen mayor probabilidad de presentar fuerzas de tracción en la base.
- Las irregularidades presentadas en la edificación aislada podrán provocar mayores aceleraciones de entrepiso, ello se incrementará con la altura.
- Los aisladores presentan mayor eficacia si estos se encuentran sobre suelo rígido.
- Las fuerzas de viento u otras cargas que no sean sísmicas deberán tener como preferencia un valor menor al 10% del peso total de la estructura.

2.5 Criterios para el análisis y diseño de edificaciones aisladas

En la NTE E.031 y el código ASCE/SEI 7-16 en su capítulo 17, se establecen algunos criterios para el análisis y diseño de edificaciones aisladas. Estos criterios serán descritos a continuación:

2.5.1 Representación de fuerzas sísmicas

Existen tres maneras de representar el movimiento del suelo en la estructura a continuación, desarrollaremos cada uno de estos.

2.5.1.1 Fuerzas estáticas equivalentes. La estructura será afectada por el movimiento del suelo por una distribución en altura de fuerzas laterales estáticas, comenzando por la cortante en su base. Estas fuerzas actúan en el centro de masa de cada diafragma y son influenciados por el peso y la altura del nivel en estudio. La cortante basal de la estructura que se obtiene a partir del espectro de respuesta será un porcentaje del peso que se nombrará como coeficiente sísmico.

Esta representación es la más sencilla y conservadora, esta representación de fuerzas sísmicas que junto con el análisis estático nos servirá para calcular fuerzas y desplazamientos mínimos de diseño para los edificios aislados.

2.5.1.2 Espectro de respuesta. Con el espectro de respuesta se logrará representar el movimiento del suelo de manera dinámica, este indica la respuesta máxima de una estructura de acuerdo a su periodo y amortiguamiento. Suele ser expresado como aceleración.

Según la NTE E.031 El espectro de diseño se obtendrá de dos maneras, la primera será mediante un estudio de sitio y la segunda siguiendo indicaciones de la NTE E.030. Cuando el espectro de diseño se obtenga mediante la NTE E.030, se deberá verificar que el periodo fundamental del estrato T_s se encuentre entre los valores indicados en la tabla:

Tabla 1

Periodo fundamental del estrato

	Suelo Tipo	T_s (s)
S0	Roca dura	< 0.15
S1	Roca o suelos muy rígidos	< 0.30
S2	Suelos intermedios	< 0.40
S3	Suelos blandos	< 0.60

Nota: Tomada de la NTE E.031, 2019.

Si los valores de T_s fuesen mayores a 0.60, será obligatorio realizar un estudio de sitio. El valor de T_s se obtendrá mediante un ensayo de micro trepidación, luego de obtenido este valor se procederá a definir el espectro elástico de pseudo aceleraciones para el sismo máximo considerado (SMC), que será determinado como:

$$Sa_M = 1.5ZUCSg$$

Los valores de Z, U y S serán definidos según la NTE E.030, el valor de U será de 1 por ser una edificación aislada y el valor de C será definido por las siguientes ecuaciones:

$$T < 0.2T_p \quad C = 1 + 7.5\left(\frac{T}{T_p}\right)$$

$$0.2T_p < T < T_p \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5\left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5\left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$$

2.5.1.3 Registros de acelerogramas. Son graficas que indican la variación de la aceleración del suelo a través del tiempo durante un sismo. Tienen dos componentes (horizontal y vertical), teniendo la componente horizontal dos direcciones perpendiculares entre sí. Estos registros serán utilizados en el análisis tipo tiempo-historia donde se definirá como mínimo siete registros sísmicos.

En el caso de registros naturales para cada par de componentes horizontales se construirá un espectro de pseudo aceleraciones usando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales, usando un 5% del amortiguamiento crítico.

Al ser registros espectro-compatibles se deberá usar el escalamiento de amplitudes, donde estos utilizaran el mismo factor para los dos componentes. Estos componentes deberán quedar dentro del rango entre $0.20T_M$ y $1.25T_M$. Se debe tener en consideración que el promedio de los distintos pares de registros usados no sea menor que el obtenido con el espectro elástico de pseudo aceleraciones de la edificación.

Los registros a utilizar deberán tener condiciones de suelo, fuente y distancia a fallas similares al lugar donde se construirá la edificación diseñada.

2.5.2 Correcciones y escalamientos de registros

Existen diversas maneras de asemejar los registros sísmicos a los espectros definidos por la norma, como primer paso se corregirá el registro de tal manera que se filtren errores de la toma de datos, esto se logrará gracias a la corrección de línea base y al filtrado de señales.

La corrección de línea base nos ayuda a alinear los valores de los registros que suelen presentar errores por la calibración del acelerógrafo. De no realizar la corrección se podría presentar errores considerables en desplazamientos y velocidades. La corrección por filtrado de señales tiene objetivo eliminar el ruido de señales que podrían afectar los valores máximos de aceleración si son de alta frecuencia y el desplazamiento y velocidades si son de baja frecuencia. (Ottazi y Quiun, 1994)

Como segundo paso se procederá al escalado del registro, esto nos ayudará para asemejar el registro sísmico ya corregido al sismo máximo considerado (SMC) recomendado por la Norma Técnica E.031, en el caso de hospitales aislados la norma nos recomienda un SMC con un periodo de retorno de 2475 años. Existen dos formas para escalar el registro, una es por amplitud y otra por frecuencia.

En el escalamiento por amplitud el espectro de aceleraciones será multiplicado por un factor para coincidir con el espectro de diseño, este escalamiento será en un rango determinado por la norma. En el escalamiento por frecuencias el registro original será escalado de tal forma que el espectro de aceleraciones coincida con el espectro de diseño.

En la presente tesis nos apoyaremos para la corrección de registros con el *Software SeismoSignal* en su versión estudiantil v2022 y para el escalamiento de registros con el *Software SeismoMatch* en su versión estudiantil v2022.

2.5.3 Tipos de análisis a utilizar para Estructuras Aisladas

Según la NTE E.031 se presentarán dos procedimientos para el análisis sísmico, el análisis estático y el análisis dinámico, el análisis dinámico podrá ser del tipo modal espectral o tiempo historia, los que serán detallados a continuación.

2.5.3.1 Análisis estático. En este método de análisis se utilizará un modelo de grado de libertad, aunque la aplicación de este método se ve restringido con algunas condiciones para ser empleado en las estructuras aisladas, también es usado como base comparativa para cualquier edificación diseñada con métodos dinámicos. A continuación, detallaremos el procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes considerados en la NTE E.031.

A. Desplazamiento Traslacional (D_M). El sistema de aislamiento será diseñado para soportar como mínimo el D_M , el valor de este será determinado con la siguiente formula:

$$D_M = \frac{S_{aM} \cdot T_M^2}{4\pi^2 B_M}$$

Donde S_{aM} es el espectro elástico de pseudo aceleraciones, correspondiente al SMC, T_M es el periodo efectivo de la estructura aislada, correspondiente al D_M , en segundos y B_M es el factor de amortiguamiento, determinado en el siguiente cuadro:

Tabla 2

Factor de amortiguamiento B_M

Factor de amortiguamiento B_M	
Amortiguamiento Efectivo, β_M (En porcentaje del amortiguamiento crítico) a, b	Factor B_M
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
≥ 40	1.9

Nota: Tomada de la NTE E.031, 2019.

B. Periodo Efectivo Correspondiente al Desplazamiento Traslacional (T_M). El periodo efectivo correspondiente al desplazamiento traslacional de la edificación aislada se determinará con la siguiente fórmula:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{K_M \cdot g}}$$

Donde P es el peso de la edificación sobre el interfaz de aislamiento y K_M es la rigidez efectiva del sistema de aislamiento.

C. Desplazamiento Total (D_{TM}). El D_{TM} de los elementos que componen el sistema de aislamiento incluirá el desplazamiento ocurrido por la torsión real y accidental, este valor no debe ser menor a $1.15D_M$ ni menor a lo planteado por la siguiente formula:

$$D_{TM} = D_M \left[1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

Donde D_M es el desplazamiento traslacional, y es distancia entre el elemento y el centro de rigidez, e es la excentricidad determinada como la suma de la distancia en planta del centro de masa de la estructura sobre el sistema de aislamiento y el centro de rigidez del sistema de aislamiento más el 5% de la mayor dimensión en planta del edificio tomado como excentricidad accidental, b es la menor dimensión en planta de la estructura, d es la mayor dimensión en planta de la estructura, P_T es la razón entre el periodo traslacional y el periodo rotacional efectivo del sistema de aislamiento, P_T se calculará con la siguiente formula:

$$P_T = \frac{1}{r_a} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}}$$

Donde r_a es el radio de giro del sistema de aislamiento, es igual a $\frac{1}{12}(b^2 + d^2)^{1/2}$, N la cantidad de aisladores, x_i e y_i son las distancias horizontales entre el aislador y el centro de masas del sistema de aislamiento.

D. Fuerzas laterales mínimas requeridas para elementos estructurales bajo nivel de base y sistema de aislamiento (V_b). El sistema de aislamiento sísmico, cimentación y todos los demás elementos estructurales que se encuentren debajo de nivel de base deberán ser diseñados con una fuerza sísmica lateral mínima (V_b), esta será hallada teniendo en consideración el límite superior de sistema de aislamiento.

$$V_b = k_M \cdot D_M$$

Donde k_M es la rigidez efectiva del sistema de aislamiento.

E. Fuerzas laterales mínimas requeridas para elementos estructurales sobre nivel de base (V_s). Los elementos estructurales por encima de nivel de base deberán ser diseñados con todos los requisitos para una estructura no aislada, para una fuerza cortante mínima (V_s), que será hallada teniendo en consideración el límite superior de sistema de aislamiento.

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_a}$$

Donde R_a es el coeficiente de reducción para la estructura sobre el sistema de aislamiento, se calculará como $3/8 R_0$, este valor no será menor a 1 ni mayor a 2, R_0 es el coeficiente de reducción para estructuras sobre base fija, este valor dependerá de las características de la estructura, V_{st} es la fuerza de cortante no reducida para elementos que se encuentran por encima del nivel de base, el V_{st} será hallado utilizando la siguiente formula:

$$V_{st} = V_b \left(\frac{P_s}{P} \right)^{(1-1.5\beta_M)}$$

Donde P es el peso de la estructura sobre el interfaz de aislamiento, P_s es el peso de la superestructura y β_M es el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico.

2.5.3.2 Análisis dinámico modal espectral. Este método calcula la respuesta máxima de la estructura a través de un espectro de aceleración que simulara el movimiento del suelo, este método asume la respuesta elástica de la estructura y un amortiguamiento β_{eff} del sistema de aislamiento todo en el rango elástico.

La NTE E.031 nos planteará algunas restricciones para este tipo de análisis que detallaremos a continuación, el β_{eff} del sistema de aislamiento no deberá ser mayor al 30%, en el análisis se efectuará el 100% del espectro en la dirección de análisis y el 30% en la dirección perpendicular y el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento tendrá el valor de la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales.

2.5.3.3 Análisis dinámico tiempo historia. Este método logrará calcular la respuesta de la estructura en cualquier instante de tiempo partir de un registro de aceleraciones. Gracias a esto se podrá determinar la respuesta máxima y mínima del edificio.

Este análisis se desarrollará con un conjunto de pares de registros que serán determinados y escalados, según el descrito anteriormente. Los parámetros de interés para el diseño se calcularán como el valor promedio de las respuestas obtenidas de los registros utilizados.

2.5.4 Fuerzas y desplazamientos laterales mínimos

2.5.4.1 Sistema de aislamiento sísmico y elementos estructurales en la subestructura. Los elementos estructurales que se encuentran dentro de este grupo deberán ser diseñados con todo lo necesario para una estructura no aislada y se utilizarán las fuerzas que resultan del análisis dinámico sin reducción. La fuerza lateral a utilizar no debe ser menor a 90% de V_b .

Debido al SMC se obtendrá un desplazamiento total del sistema de aislamiento el cual no debe ser menor que el 80 % de D_{TM} , donde para hallarlo se puede usar D'_M en lugar de D_M .

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T_f}{T_M}\right)^2}}$$

Donde T_f es el periodo fundamental de la estructura considerada con base fija y T_M es el periodo efectivo correspondiente al desplazamiento traslacional, en segundos.

2.5.4.2 Elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento sísmico. Los elementos estructurales que se encuentran dentro de este grupo deberán ser diseñados con todo lo necesario para una estructura no aislada y se utilizarán las fuerzas que resultan del análisis dinámico reducidas por R_a .

Para un análisis modal espectral la fuerza cortante de diseño en los diferentes pisos no debe ser menor a la fuerza de corte que resulta de la aplicación de fuerzas y de V_b .

Para un análisis tiempo-historia el valor de V_b no será menor que el 80% de lo obtenido por el método estático y en el caso de V_s no será menor que el 100% de lo obtenido por el método estático.

Escalamiento de Resultados. Si en el procedimiento modal espectral o el procedimiento de tiempo-historia se llega al resultado de una fuerza cortante lateral menor al valor mínimo, este será escalado en conjunto con las fuerzas en los elementos de la estructura.

Límites de la Deriva. Para un SMC con un $R_a = 1$, la deriva máxima de entre piso deberá cumplir lo siguiente:

- No deberá exceder de 0.0035, según un análisis modal espectral.
- No deberá exceder de 0.005, según un análisis tiempo-historia.

A continuación, presentaremos dos cuadros resumen de los valores mínimos y máximos de desplazamientos y fuerzas de diseño del sistema de aislamiento.

Tabla 3*Limites para fuerzas de diseño*

Componente estructural	Valor mínimo (A. Estático)	Valores dinámicos		
		A. Modal espectral	Fuerza de diseño	Factor de escalamiento f
Sistema de aislamiento y subestructura (R=1)	90% V_b	$V_{b\ ESP}$	$MAX \{ 90\% V_b, V_{b\ ESP} \}$	$\frac{90\% V_b}{V_{b\ ESP}} \geq 1$
Superestructura (R= R_a)	V_s	$V_{s\ ESP}$	$MAX \{ V_s, V_{s\ ESP} \}$	$\frac{90\% V_b}{V_{b\ ESP}} \geq 1$

Nota: Cuadro de límites para fuerzas de diseño. Adaptado de la NTE E.031, 2019.

Tabla 4*Desplazamientos máximos del sistema de aislamiento*

Método de análisis dinámico	Valor mínimo	Valor dinámico	Desplazamiento máximo de diseño D_{max}
	A. Estático		
A. Modal espectral	80% D_{TM}	$D_{TM\ ESP}$	$MAX \{ 80\% D_{TM}, D_{TM\ ESP} \}$
A. Tiempo-historia		$D_{TM\ T-H}$	$MAX \{ 80\% D_{TM}, D_{TM\ T-H} \}$

Nota: Cuadro de desplazamientos máximos de diseño. Adaptado de la NTE E.031, 2019.

2.5.5 Regularidad estructural

La estructura sobre el sistema de aislamiento podrá ser catalogada como regular o irregular luego de verificar si cuenta o no con los siguientes tipos de irregularidad: Irregularidad de piso blando (rigidez o rigidez extrema), irregularidad piso débil (resistencia o extrema de

resistencia), irregularidad por discontinuidad extrema en los sistemas resistente, e irregularidad torsional extrema en planta.

Existen algunas restricciones a las irregularidades en las edificaciones sísmicamente aisladas, estas restricciones dependerán de la categoría de la edificación y la zona donde se ubique, se resumirá en la Tabla 5.

Tabla 5

Tabla de categoría y regularidad de edificaciones aisladas

Categoría y regularidad de edificaciones aisladas		
Categoría de la edificación	Zona	Restricciones
A y B	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2 y 1	Sin restricciones
C	4	No se permiten irregularidades extremas
	3, 2 y 1	Sin restricciones

Nota: Adaptada de la NTE E.031, 2019.

2.5.6 Consideraciones adicionales

2.5.6.1 Variación de propiedades en aisladores en el análisis. Para el diseño de edificaciones aisladas se debe tener en cuenta la variación de las propiedades de los dispositivos de aislamiento debido a la influencia del envejecimiento, contaminación, exposición del ambiente y temperatura.

Se utilizarán dos factores de modificación de propiedades (λ_{sup} e λ_{inf}), estos factores no solo variaran con el tipo de dispositivo utilizado para el sistema de aislamiento sino también variara por el tipo de clase (I o II) en el que será clasificado luego de ensayos cualificación y los estudios científicos que brindara el fabricante de los dispositivos de aislamiento.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los valores de λ_{sup} e λ_{inf} presentado en la Norma Técnica E.031.

Tabla 6*Factores de modificación según clasificación de dispositivos - NTE E.031*

Factores de modificación según clasificación de dispositivos								
Variable	Tipos de dispositivos	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	LDRB	LRB		HDRB	
		μ o Q_d	μ o Q_d	K	K_d	Q_d	K_d	Q_d
Mínimo Factor de modificación λ_{sup}	Clase II	2.1	3.2	1.8	1.8	1.8	2.2	1.8
	Clase I	1.6	2.25	1.3	1.3	1.5	2.0	1.7
Máximo Factor de modificación λ_{inf}	Clase II	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	Clase I	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Nota: Tomada de la NTE.031, 2019.

Los factores de modificación λ multiplicaran a la fuerza característica (Q_d) y a la rigidez inelástica (K_d), esta condición dará como resultado propiedades de límite superior (usando λ_{sup}), inferior (usando λ_{inf}) y nominal de los aisladores.

Debido al uso de estos factores las propiedades de los dispositivos multiplicado con un λ_{max} harán el sistema de aislamiento más rígido resultando esto en una disminución del periodo fundamental, contrario a los dispositivos multiplicado con un λ_{inf} que harán el sistema de aislamiento más flexible logrando un alargamiento en el periodo fundamental. Estas propiedades lograran parámetros más desfavorables según el factor de modificación usado, debido al comportamiento de la estructura, a continuación, se presentará un cuadro resumen.

Tabla 7*Parámetros de respuestas desfavorables según extremos de rango*

Extremos del rango	Parámetros de respuesta más desfavorable	Explicación
Propiedades límite superior λ_{sup}	Derivas	El acortamiento del periodo aumenta el valor de ϵ
	Aceleraciones	Se obtienen mayores aceleraciones
	Fuerzas cortantes	Mayores fuerzas debido al aumento de rigidez del sistema
	Compresiones y tracciones máximas	Mayores fuerzas cortantes requerirán mayor brazo de palanca para una misma distancia entre dispositivos
Propiedades límite inferior λ_{inf}	Desplazamientos	Máximos desplazamientos por alargamiento de periodo
	Fuerza restitutiva	Menor fuerza restitutiva por la menor pendiente de rigidez post fluencia

Nota: Tomada de la NTE.031, 2019.

2.5.6.2 Metodología HAZUS. Es una metodología desarrollada por FEMA (Agencia federal para el manejo de emergencias por las siglas en ingles) para la estimación de pérdidas potenciales por terremotos, inundaciones y huracanes en EEUU para posteriormente tomar decisiones de planificación de respuestas ante estos peligros naturales.

Dentro del manual técnico HAZUS-MH MR4, capítulo 5, se presenta la metodología de estimación de daño la cual describe los estados de daño a las que las edificaciones están expuestas según su nivel de diseño sísmico, clasificación y derivas de entrepiso.

HAZUS sugiere criterios numéricos para catalogar el daño en los elementos estructurales y no estructural. Esto se logrará con parámetros importantes como las derivas y aceleraciones de entrepiso.

El nivel de daño se obtiene luego de establecer las características de la estructura y el nivel de sismo de diseño. A continuación, se presenta una tabla con límites de derivas y aceleraciones que se plantea para componentes estructurales y no estructurales. Siendo este un cuadro resumen para un edificio con sistema aporticado de concreto armado de 4 a 7 niveles, diseñado para un sismo de nivel de daño alto.

Tabla 8

Límites según metodología HAZUS

Componente	Parámetro	Nivel de daño			
		Leve	Moderado	Extendido	Completo
Estructural	Deriva (‰)	3.3	6.7	20.0	53.3
No estructural	Aceleración (g)	0.30	0.60	1.20	2.40

Nota: Tomada de la NTE.031, 2019.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

Según Sampieri et al. (2014) el tipo de investigación que se desarrollara en esta tesis tendrá un enfoque cuantitativo, ya que este tendrá las siguientes características:

- Ser lo más objetivo posible.
- Poseer un patrón predecible y estructurado en el proceso.
- Se buscará generalizar los resultados en un grupo como muestra a una colectividad mayor y al final se pretenderá predecir relaciones y causales entre elementos.

Sampieri et al. (2014) también define dentro el enfoque cuantitativo diferencias dependiendo de la causalidad del alcance que se desarrolle, en el caso de esta investigación el alcance que se tendrá será del tipo explicativo ya que su interés se centrara en explicar por qué ocurre el fenómeno (la respuesta sísmica de un hospital aislado en la base) y como se relacionan dos o más variables (forma en planta y altura).

Según lo descrito se puede deducir que esta investigación tiene un enfoque cuantitativo con alcance explicativo.

3.2 Ámbito temporal y espacial

La investigación se desarrollará en el año 2023. La estructura que se utilizará para esta investigación será del tipo hospitalaria, ubicado en el distrito de San Martín de Porres, departamento de Lima en el Perú. Esta tendrá un sistema aporticado con una zonificación Z4 y suelo S1, donde se utilizarán aisladores del tipo LRB.

3.3 Variables

3.3.1 *Variable independiente:*

- Configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB.

3.3.2 *Variable dependiente:*

- Respuesta sísmica según la NTE.031

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

Según Sampieri et al. (2014) la población es el grupo de casos que coinciden con determinadas características. En esta investigación la población comprende a las edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en Lima.

3.4.2 Muestra

Según Sampieri et al. (2014) el tipo de muestra que se utilizara será del tipo no probabilístico, ya que la elección de los elementos no dependerá de la probabilidad, sino de causas que se relacionan con lo que quiere demostrar el investigador.

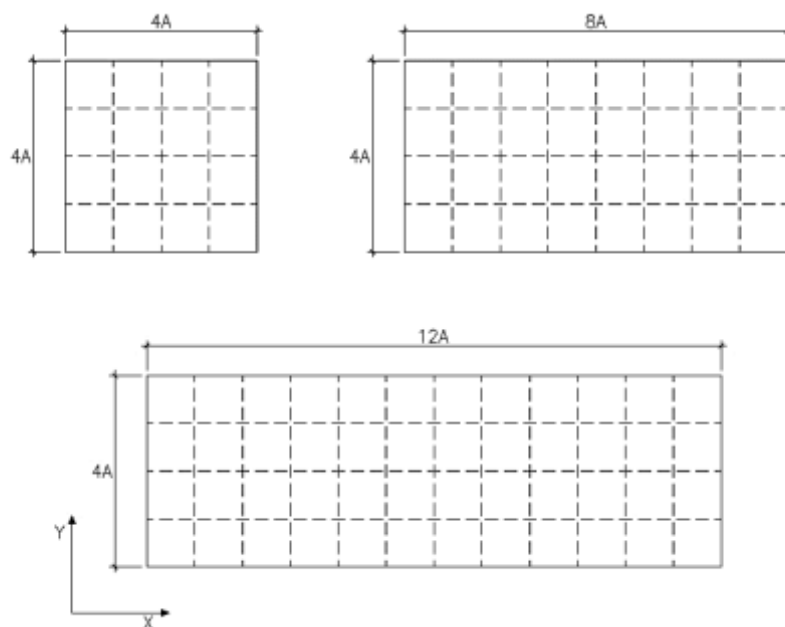
En esta investigación se busca determinar en qué medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la respuesta sísmica según la NTE.031 por ende, se variará la configuración en planta y en altura, tomando así para el estudio 12 modelos.

- Modelo R4x4.p3: Planta regular en relación 1:1 con 3 pisos.
- Modelo R4x8.p3: Planta regular en relación 1:2 con 3 pisos.
- Modelo R4x12.p3: Planta regular en relación 1:3 con 3 pisos.
- Modelo R4x4.p5: Planta regular en relación 1:1 con 5 pisos.
- Modelo R4x8.p5: Planta regular en relación 1:2 con 5 pisos.
- Modelo R4x12.p5: Planta regular en relación 1:3 con 5 pisos.
- Modelo E4x4.p3: Planta con esquinas entrantes en relación 1:1 con 3 pisos.
- Modelo E4x8.p3: Planta con esquinas entrantes en relación 1:2 con 3 pisos.
- Modelo E4x12.p3: Planta con esquinas entrantes en relación 1:3 con 3 pisos.
- Modelo E4x4.p5: Planta con esquinas entrantes en relación 1:1 con 5 pisos.
- Modelo E4x8.p5: Planta con esquinas entrantes en relación 1:2 con 5 pisos.
- Modelo E4x12.p5: Planta con esquinas entrantes en relación 1:3 con 5 pisos.

Las plantas típicas que se utilizarán tendrán una distancia entre ejes representado con “A” donde el valor de este será de 6m. En resumen las relaciones en planta serán de 1:1, 1:2 y 1:3. Estos valores fueron escogidos buscando la mejor representación en relación de planta para edificaciones hospitalarias, es así que se decidió tomar configuraciones regulares e irregulares ya que en la reciente NTE.031 se nos permite tener irregularidades que no sean extremas para edificaciones hospitalarias en zona 4, este campo presenta poca información de la respuesta sísmica a esperarse debido a que antes de esta norma no se permitía ningún tipo de irregularidades para edificaciones de categoría A, buscando así aportar a este campo de investigación. Las plantas irregulares que se utilizaran presentaran esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones será del 25% de la correspondiente dimensión total en planta. Las elevaciones típicas (3 y 5 pisos) tendrán una altura de 3.50m de alto para el primer nivel y 3.00m de altura típica para los demás pisos, la cantidad de pisos fue escogido en base la recopilación de datos presentado por Talavera (2017), donde se logra observar que el rango de pisos más frecuentes utilizados para edificaciones hospitalarias es de 1 a 5.

Figura 4

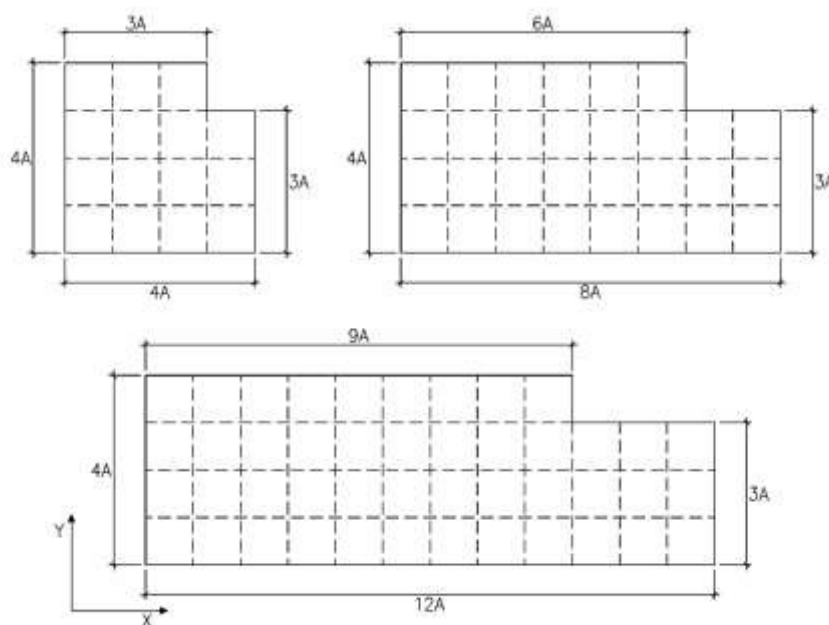
Plantas típicas de los modelos con planta regular



Nota: En esta imagen se puede observar las plantas típicas de los modelos con planta regular

Figura 5

Plantas típicas de los modelos con planta con esquinas entrantes



Nota: En esta imagen se puede observar las plantas típicas de los modelos con planta con esquinas entrantes, estos variaran de 3 y 5 pisos.

Los tipos de aislador a utilizar serán del tipo LRB ya que según (Méndez, 2013) son los aisladores más utilizados durante décadas teniendo la oportunidad de ser mejorados luego de diversos terremotos, mostrando así su mayor efectividad. Además, los ingenieros estructurales pueden simular la respuesta del dispositivo de manera simple con el uso de modelos bilineales. Estos dispositivos también son uno de los más utilizados en los hospitales en Perú, como se demuestra en la recopilación de datos presentados por Talavera (2017).

3.5 Instrumentos

El tipo de recolección de datos que se utilizara para esta investigación será de observación directa, donde como instrumento de medición se utilizaran fichas de observación para registrar información y datos de cada indicador en estudio.

El instrumento de medición cumplirá tres requisitos esenciales, los cuales serán confiabilidad, validez y objetividad. La confiabilidad se conseguirá por medio del uso de un

software para análisis estructural y dimensionamiento de edificios llamado ETABS, el cual será usado en su versión libre de 60 días, este nos permitirá tener resultados consistentes y coherentes. Se logrará la validez mediante la validez de juicio de expertos, donde los indicadores en estudio serán determinados mediante experiencia en investigaciones anteriores. Se tendrá objetividad ya que el instrumento de medición no tendrá influencia de ningún tipo del investigador y esto se conseguirá mediante la estandarización de procesos para que la evaluación de datos.

3.6 Procedimientos

El procedimiento para el diseño de edificios aislados podría dividirse en tres grandes etapas, el primero sería el diseño preliminar del sistema de aislamiento, el segundo el diseño definitivo del sistema de aislamiento y el tercero el diseño de elementos estructurales. En el diseño preliminar se desarrollará un análisis estático donde predimensionaremos el sistema de aislamiento sísmico y un análisis modal espectral preliminar donde verificaremos criterios normativos base. Todo esto se desarrollará con propiedades nominales del sistema de aislamiento. En el diseño definitivo del sistema de aislamiento se elaborará un análisis tiempo historia que nos ayudará a consolidar las características del sistema de aislamiento y el comportamiento del edificio. En este diseño se utilizarán propiedades con límite superior, inferior y nominal. En el diseño de elementos estructurales se procederá con un análisis modal espectral definitivo donde se incorporarán las propiedades finales de los dispositivos. Aquí se utilizarán las propiedades de límite superior, ya que son las más críticas para el diseño de elementos.

A continuación, plantearemos mapas conceptuales de los procedimientos base para cada una de las etapas de diseño de un edificio aislado.

Figura 6

Mapa conceptual de pre dimensionamiento de aislamiento sísmico

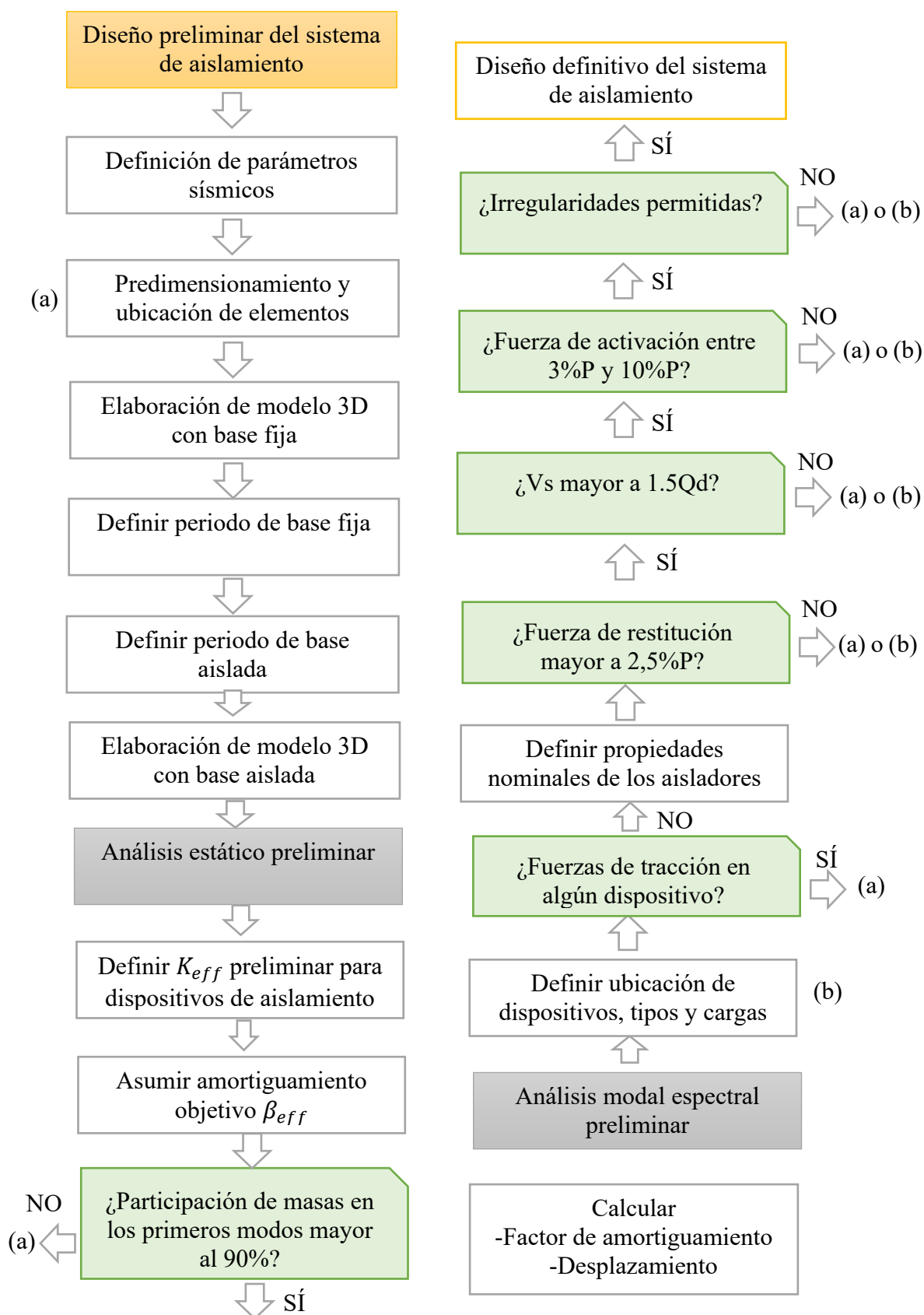
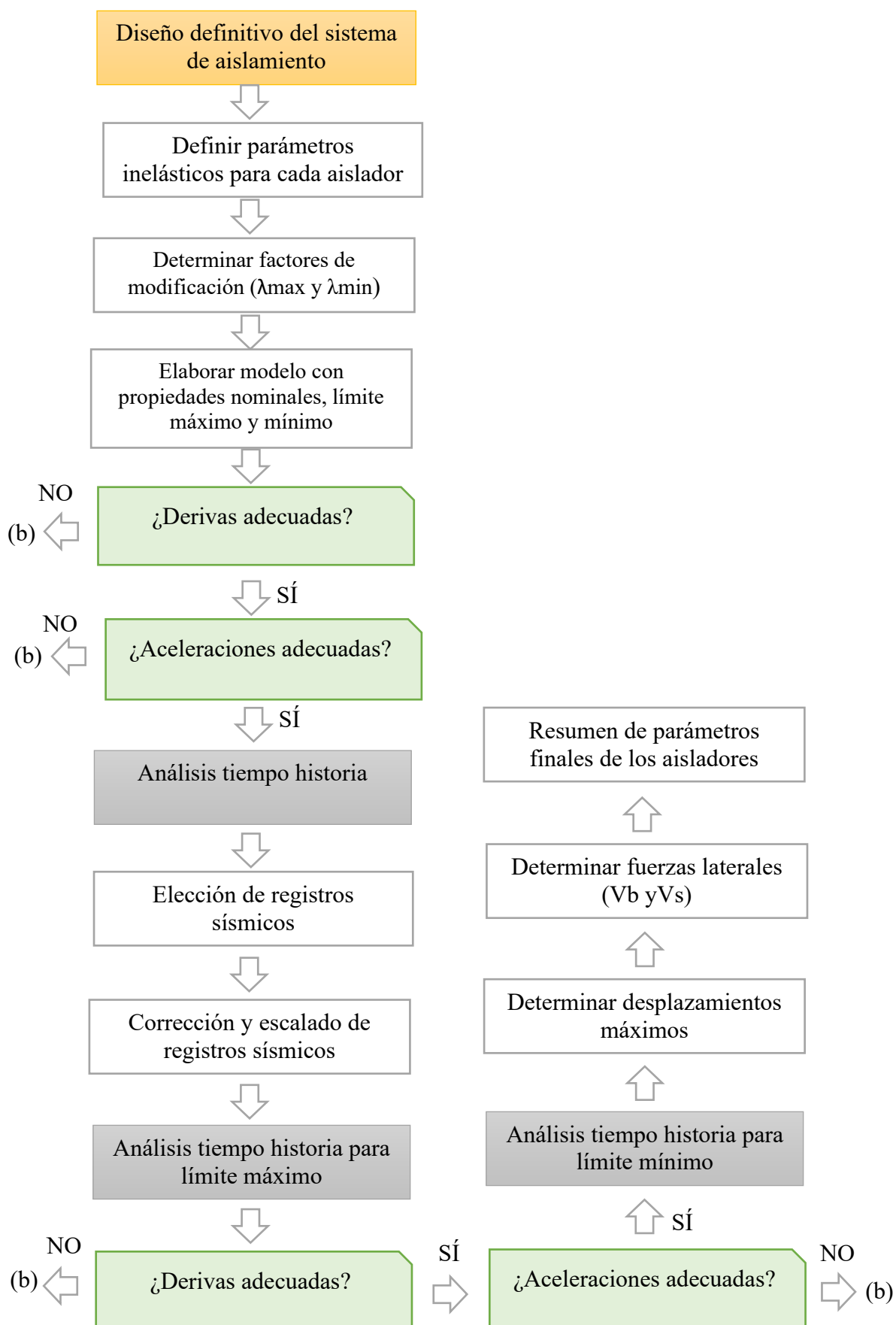


Figura 7*Mapa conceptual de diseño de aislamiento sísmico*

3.6.1 Estructuración de los casos de estudio

3.6.1.1. Generalidades. Para la presente tesis se analizaron 12 modelos diferentes, todos presentan sistemas estructurales de tipo pórticos de concreto armado, los dispositivos de aislamiento utilizados estarán ubicados debajo de cada columna y serán del tipo LRB, las cargas de los modelos fueron designadas para edificación del tipo hospitalarias.

Las edificaciones tendrán una configuración tanto en planta como en altura variables, dando cada una de ellas un caso de estudio diferente, se presentarán 3 plantas típicas con sus respectivas variantes con esquina entrante y 2 alturas típicas; esto se explica con mayor profundidad en el capítulo 3.4.2 de la presente tesis.

Las losas de entrepiso y de aislamiento están definidas como losas macizas, las columnas son constantes en todos los pisos, y las vigas centrales mantienen su peralte en todos los niveles. La resistencia de los elementos estructurales es de $f'_c=280\text{kg/cm}^2$.

Las cargas de gravedad fueron tomadas de acuerdo a la norma E.020, a continuación, presentaremos tablas con los valores utilizados.

Tabla 9

Sobrecarga considerada para modelos

Descripción	Cantidad	Unidad
S/C muerta (Piso terminado y tabiquería)	250	kg/cm ²
S/C viva (entrepiso)	350	kg/cm ²
S/C viva (azotea)	100	kg/cm ²

Los parámetros sísmicos Z, U y C son definidos por la norma E.030 donde $Z=0.45$ ya que los modelos de estudio se encuentran en Lima ubicado en la zona 4, $U=1$ para todas las edificaciones con aislamiento sísmico en la base y C dependerá del periodo de la estructura aislada. El tipo de suelo utilizado será un S1 con una capacidad portante de 4kg/cm^2 . Se utilizará un factor de reducción $R=1$ para el sistema de aislamiento y un $R_a=1$ para la super estructura.

3.6.2 Predimensionamiento

3.6.2.1. Losas macizas. Se utilizaron losas macizas en dos direcciones para los entrepisos, la azotea y la losa de aislamiento sísmico; se optó por esta decisión ya que estas losas nos permiten mayor facilidad de fijación de equipos médicos y en disposición de instalaciones. Estas losas presentan resistencia y rigidez muy buena y se recomienda para su predimensionamiento el perímetro del paño entre 180, sin embargo, se optó por utilizar una losa de min 20cm por protección acústica y de vibraciones. (Blanco, 1997)

$$e = \frac{\text{Perímetro}}{180} = \frac{600 \times 4}{180} = 13.3cm \approx 20cm$$

3.6.2.2. Vigas de superestructura. Según Blanco (1997) las vigas se podrán predimensionar dividiendo la luz libre entre 12, el ancho se podrá variar entre el 0.3 a 0.5 de la altura.

$$h = \frac{L}{10} = \frac{600}{12} cm = 50cm$$

En la presente tesis se utilizaron para la superestructura vigas de 50cm y 60cm de peralte. Las vigas de 50cm se utilizaron en los extremos de las edificaciones, buscando disminuir tracciones en los dispositivos de aislamiento con la reducción del peralte en las vigas extremas. El ancho de la viga a utilizar en todos los casos fue de 40cm.

3.6.2.3. Columnas. Según Blanco (1997) las columnas están sometidas a cargas axiales y a momento flector, para ser diseñados se deberá evaluar cuál de los dos efectos tiene mayor influencia en la dimensión de las columnas, debido al aislamiento sísmico las fuerzas sísmicas se verán reducidas y se estima que las cargas axiales serán las de mayor influencia, por esto se ha optado como método de predimensionamiento el siguiente criterio.

$$\text{Area de columna} = \frac{P_{\text{servicio}}}{0.35f'_c} = \frac{6 \times 6 \times 5 \times 1.2}{0.45 \times 280} = 2204 \text{ cm}^2$$

Según el predimensionamiento se podrían usar como mínimo columnas de 50cmx50cm, pero en el posterior análisis se llegó que como mínimo se necesitó utilizar columnas de 60cmx60cm.

3.6.2.4. Vigas de aislamiento. Las dimensiones de las vigas de aislamiento que se utilizaron fueron de 50x100cm, estas dimensiones iniciales se tomaron de la recomendación de Meza en su tesis ‘‘Evaluación del desempeño sísmico de un edificio aislado con irregularidad torsional’’.

3.6.2.5. Pedestales. Las dimensiones de los pedestales que se utilizaron fueron 100x100cm, como partida inicial en el análisis, valores tomados de la recomendación de Meza en su tesis ‘‘Evaluación del desempeño sísmico de un edificio aislado con irregularidad torsional’’.

3.6.3 *Análisis sísmico de casos de estudio*

3.6.3.1. Periodos fundamentales iniciales. Los modelos iniciales con base fija fueron desarrollados en el *software* ETABS en su versión v19.1.0. Los elementos estructurales como columnas, vigas y pedestales fueron definidos como tipo *frame* y las losas macizas fueron modeladas como tipo *membrane*. Las sobrecargas vivas y muertas fueron distribuidas uniformemente en las losas.

En la tabla N°9 se presentan el resumen de los periodos fundamentales de los modelos de base fija, estos periodos servirán como base para la elección de periodo objetivo del sistema de aislamiento de cada modelo.

Tabla 10*Periodos fundamentales de base fija*

Nº	Modelo	Periodos de base fija		
		Modo 1	Modo 2	Modo 3
1	R4x4.p3	0.423	0.423	0.371
2	R4x8.p3	0.382	0.365	0.348
3	R4x12.p3	0.383	0.365	0.360
4	E4x4.p3	0.367	0.367	0.332
5	E4x8.p3	0.381	0.365	0.349
6	E4x12.p3	0.383	0.365	0.360
7	R4x4.p5	0.617	0.617	0.556
8	R4x8.p5	0.642	0.611	0.585
9	R4x12.p5	0.644	0.609	0.606
10	E4x4.p5	0.620	0.620	0.561
11	E4x8.p5	0.643	0.611	0.587
12	E4x12.p5	0.645	0.610	0.607

El periodo de los modelos de base aislada se tomará inicialmente a un valor mayor a 3 veces en periodo de base fija de cada modelo como punto de inicio, luego este valor pasará por varias fases iterativas hasta llegar al valor que nos de las mejores respuestas.

3.6.4 Análisis estático preliminar

Para dar inicio al análisis estático preliminar deberemos definir primero algunos valores iniciales que serán utilizados para nuestros 12 modelos.

Iniciaremos con el K_{AIS} preliminar, que se podrá determinar despejándolo de la siguiente ecuación:

$$K_{AIS} = \frac{4\pi^2}{T_{B.aislada}^2} \times M$$

Donde “M” es la masa de la masa de la superestructura mas la masa del piso de aislamiento, estos valores podrán ser calculador directamente del modelo elaborado en ETABS.

Figura

2

Distribución en planta del modelo R4x12x3p y R4x12x5p

Luego de hallar el K_{AIS} preliminar determinaremos el K_M preliminar de los dispositivos, donde estamos asumiendo que solo existirá un tipo de aislador, la cantidad de dispositivos será igual a la cantidad de columnas. El valor de K_M podrá ser determinado con la siguiente ecuación:

$$K_{eff} = \frac{K_{AIS}}{N}$$

Este valor nos servirá para la primera verificación del modelo y determinar si las masas participativas dentro de los primeros tres modos están dentro de lo esperado. Por recomendación deberán ser mayores al 90% en los primeros tres modos.

También se deberá definir el amortiguamiento efectivo, que en nuestro caso tendrá un valor de 15%, gracias a este valor se podrá determinar el factor de amortiguamiento que luego de la interpolación tendrá un valor de 1.35.

Tabla 11

Masas participativas de modelos con base aislada

Nº	Modelo	Modo	UX	UY	RZ
1	R4x4.p3	1	90.04%	9.94%	0.00%
		2	9.94%	90.04%	0.00%
		3	0.00%	0.00%	99.98%
2	R4x8.p3	1	0.00%	99.98%	0.00%
		2	99.98%	0.00%	0.00%
		3	0.00%	0.00%	99.98%
3	R4x12.p3	1	0.00%	99.98%	0.00%
		2	99.99%	0.00%	0.00%
		3	0.00%	0.00%	99.99%
4	E4x4.p3	1	90.04%	9.94%	0.00%
		2	9.94%	90.04%	0.00%
		3	0.00%	0.00%	99.98%
5	E4x8.p3	1	5.35%	91.76%	2.88%
		2	94.33%	5.63%	0.03%
		3	0.31%	2.59%	97.08%

N°	Modelo	Modo	UX	UY	RZ
6	E4x12.p3	1	0.00%	99.99%	0.00%
		2	99.98%	0.00%	0.01%
		3	0.01%	0.00%	99.98%
7	R4x4.p5	1	99.86%	0.00%	0.00%
		2	0.00%	99.86%	0.00%
		3	0.00%	0.00%	99.90%
8	R4x8.p5	1	0.00%	99.92%	0.00%
		2	99.94%	0.00%	0.00%
		3	0.00%	0.00%	99.93%
9	R4x12.p5	1	0.00%	99.93%	0.00%
		2	99.95%	0.00%	0.00%
		3	0.00%	0.00%	99.94%
10	E4x4.p5	1	91.35%	8.00%	0.56%
		2	8.19%	91.54%	0.16%
		3	0.36%	0.36%	99.21%
11	E4x8.p5	1	5.15%	92.26%	2.52%
		2	93.81%	5.72%	0.40%
		3	0.98%	1.94%	97.01%
12	E4x12.p5	1	0.00%	99.32%	0.55%
		2	99.85%	0.00%	0.05%
		3	0.05%	0.55%	99.29%

En la Tabla N°11 se resumen las masas participativas en los primeros tres modos de todos los modelos, podemos notar que todas las masas participativas son mayores a 90% gracias a esto podemos inferir que el modelo se está desacoplando de manera óptima.

Luego de verificado este punto podremos proseguir con el análisis estático definitivo y hallaremos valores nominales como desplazamiento (D_M), coeficiente de amortiguamiento (B_M), etc. Estos valores fueron hallados luego de varias fases iterativas.

Tabla 12*Parámetros nominales del análisis estático*

N°	Modelo	Parámetro nominal			
		T _M (s)	B _M	S _{am} (m/s ²)	D _M (cm)
1	R4x4.p3	2.12	1.39	3.15	25.70
2	R4x8.p3	2.47	1.39	2.70	30.00
3	R4x12.p3	2.77	1.39	2.19	30.58
4	E4x4.p3	2.32	1.39	2.88	28.22
5	E4x8.p3	2.77	1.39	2.19	30.65
6	E4x12.p3	2.82	1.39	2.11	30.60
7	R4x4.p5	2.61	1.39	2.45	30.49
8	R4x8.p5	3.01	1.39	1.84	30.46
9	R4x12.p5	2.86	1.39	2.04	30.43
10	E4x4.p5	2.61	1.39	2.45	30.47
11	E4x8.p5	2.96	1.39	1.90	30.48
12	E4x12.p5	2.86	1.39	2.04	35.01

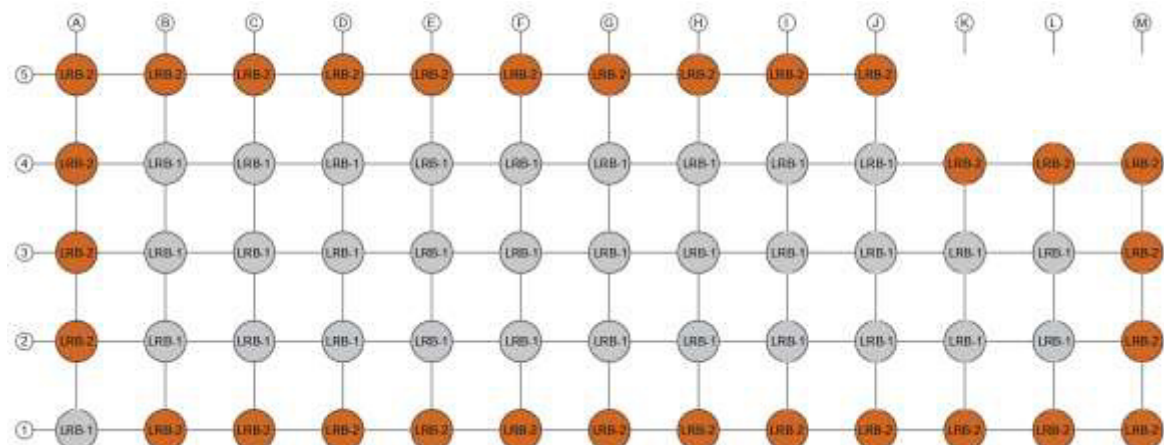
3.6.5 Análisis modal espectral preliminar

Iniciaremos el análisis modal espectral preliminar ubicando los dispositivos de aislamiento que utilizaremos para cada modelo, la ubicación de estos dispositivos fue determinada con la prioridad de evitar la excentricidad natural y evitar problemas de torsión del edificio, a continuación, mostraremos la ubicación de los dispositivos en cada uno de los modelos y las cargas máximas y mínimas en los dispositivos, como también las propiedades lineales de los dispositivos para cada modelo.

Se utilizaron 2 tipos de dispositivos tipo LRB para cada modelo, se utilizaron dos dispositivos para así poder lograr un ahorro económico en comparación a utilizar solamente un aislador con valores máximos.

Figura 14

Distribución en planta del modelo E4x12x3p

**Figura 15**

Distribución en planta del modelo E4x12x5p

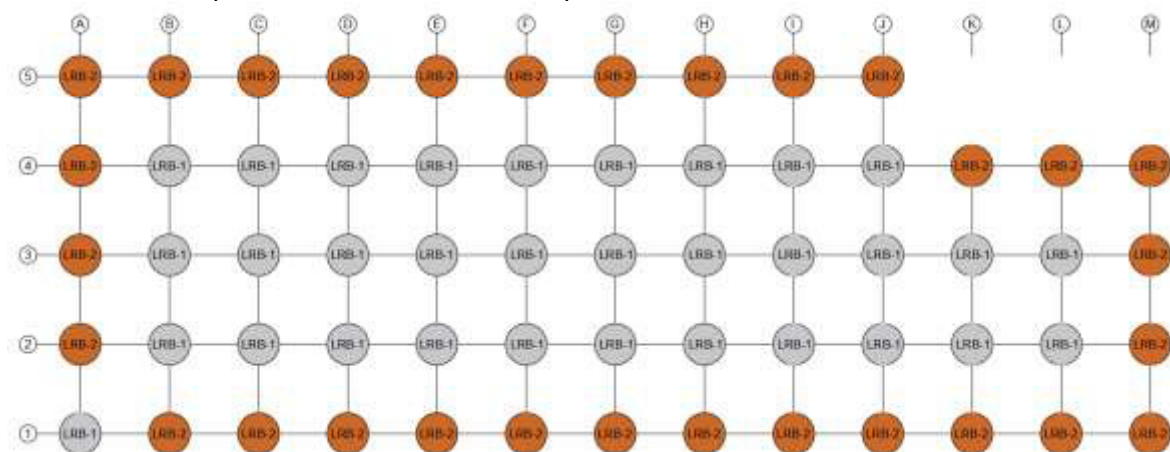


Tabla 13*Cargas máximas, mínimos y promedio de los aisladores tipo LRB*

N°	Modelo	LRB-1			LRB-2		
		Pa (ton)	Pb (ton)	Pc (ton)	Pa (ton)	Pb (ton)	Pc (ton)
1	R4x4.p3	188.69	323.03	84.18	90.61	184.38	45.24
2	R4x8.p3	183.09	311.46	83.61	113.94	222.99	56.84
3	R4x12.p3	183.64	312.40	83.26	93.55	191.31	53.24
4	E4x4.p3	187.42	305.80	65.06	90.78	187.74	49.64
5	E4x8.p3	183.51	313.63	49.51	93.91	183.87	45.35
6	E4x12.p3	183.63	312.84	52.24	93.76	183.76	43.30
7	R4x4.p5	266.95	457.99	117.28	138.49	279.32	8.51
8	R4x8.p5	266.69	456.54	120.86	138.53	286.16	68.32
9	R4x12.p5	266.69	457.78	120.86	138.53	284.60	68.33
10	E4x4.p5	276.49	471.91	104.67	132.68	268.52	69.34
11	E4x8.p5	276.41	473.54	83.12	143.07	292.77	70.26
12	E4x12.p5	274.71	478.11	95.57	133.51	275.56	63.14

Tabla 14*Parámetros lineales de los aisladores LRB*

N°	Modelo	LRB-1			LRB-2		
		Cant.	Keff (ton/m)	Ch (ton.s/m)	Cant.	Keff (ton/m)	Ch (ton.s/m)
1	R4x4.p3	9	128.76	5.50	16	75.17	3.56
2	R4x8.p3	21	122.98	9.87	24	58.52	5.85
3	R4x12.p3	33	137.30	14.32	32	72.67	7.60
4	E4x4.p3	12	104.14	6.23	12	71.59	4.69
5	E4x8.p3	25	85.02	8.18	17	54.10	5.09
6	E4x12.p3	32	85.42	8.52	30	55.06	5.64
7	R4x4.p5	9	126.90	13.11	16	74.11	8.56
8	R4x8.p5	21	121.49	12.37	24	69.05	7.32
9	R4x12.p5	33	124.37	13.15	32	70.90	7.85
10	E4x4.p5	12	143.43	12.96	12	70.71	7.08
11	E4x8.p5	23	121.96	12.40	19	68.34	6.84
12	E4x12.p5	32	166.79	19.27	30	95.09	11.44

En la Tabla N°13 Pa es la carga vertical promedio, Pb es la carga vertical máxima y Pc es la carga vertical mínima, que podrán ser hallados con la siguientes formulas: en la norma E031

$$P_a = 1.0D + 0.5L$$

$$P_b = 1.25(D + L) + 1.0(E_h + E_v)$$

$$P_c = 0.9D - 1.0(E_h + E_v)$$

Donde Pa nos servirá para el predimensionamiento de los aisladores, Pc para determinar si existen tracciones en los dispositivos y Pb para determinar la estabilidad del aislador, gracias a estos valores se puede determinar que los aisladores no presentan tracción en ninguno de los modelos.

3.6.5.1. Verificaciones preliminares: Fuerza de restitución lateral. El sistema de aislamiento sísmico debe ser capaz de producir una fuerza de restitución lateral mayor a la necesaria para que regrese a su posición inicial luego de un evento sísmico, según la N.T.E. E.031 en el artículo 9, nos indica que el valor de esta fuerza debe ser mayor a **2.5%P**.

Tabla 15

Fuerzas de restitución de los modelos

N°	Modelo	LRB-1		LRB-2		Sistema de aislamiento		
		Cant.	FRS (ton)	Cant.	FRS (ton)	FRS total (ton)	P (ton)	%P (ton)
1	R4x4.p3	9	12.06	16	6.75	216.54	2942.92	7%
2	R4x8.p3	21	14.09	24	6.20	444.69	6062.94	7%
3	R4x12.p3	33	12.09	32	6.40	603.77	8630.00	7%
4	E4x4.p3	12	11.12	12	7.42	222.48	2768.66	8%
5	E4x8.p3	25	9.98	17	6.40	358.30	5267.81	7%
6	E4x12.p3	32	9.98	30	6.38	510.76	8111.35	6%
7	R4x4.p5	9	14.30	16	7.99	256.54	4330.29	6%
8	R4x8.p5	21	14.39	24	8.08	496.11	8523.38	6%
9	R4x12.p5	33	14.34	32	8.08	731.78	12716.38	6%
10	E4x4.p5	12	16.88	12	8.05	299.16	4072.48	7%
11	E4x8.p5	23	14.38	19	8.10	484.64	8007.11	6%
12	E4x12.p5	32	14.35	30	8.06	701.00	11949.54	6%

En la Tabla N°15 podemos observar que para todos los modelos la F_{RS} es mayor a $2.5\%P$, siendo este un indicador importante de verificación previa antes de proceder al análisis definitivo del sistema estructural.

Límite de V_s : Según la N.T.E. E.031 en el artículo 21, nos indica que el valor de esta fuerza debe ser mayor o igual a $1.5Q_d$, siendo Q_d la fuerza necesaria para activar completamente el sistema de aislamiento.

Tabla 16

Comparación de fuerzas de cortante mínimas

N°	Modelo	Sistema de aislamiento		
		V_s (ton)	Q_d total (ton)	V_s/Q_d (ton)
1	R4x4.p3	519.94	165.05	3.15
2	R4x8.p3	893.66	289.17	3.09
3	R4x12.p3	1061.94	332.41	3.19
4	E4x4.p3	445.93	140.16	3.18
5	E4x8.p3	646.61	201.76	3.20
6	E4x12.p3	962.06	301.42	3.19
7	R4x4.p5	655.76	188.88	3.47
8	R4x8.p5	971.20	276.69	3.51
9	R4x12.p5	1606.72	460.02	3.49
10	E4x4.p5	616.51	176.64	3.49
11	E4x8.p5	924.35	268.21	3.45
12	E4x12.p5	1509.17	431.62	3.50

En la Tabla N°16 podemos observar que para todos los modelos la V_s es mayor a $1.5Q_d$.

Fuerza de activación: Según diversas investigaciones se recomienda que el valor de (citar en tesis) Q_d este entre el $3\%P$ y el $10\%P$, para que así el sistema aislado se active para sismos frecuentes.

Tabla 17*Fuerzas de activación del sistema de aislamiento*

N°	Modelo	LRB-1		LRB-2		Sistema de aislamiento		
		Cant.	Q _d (ton)	Cant.	Q _d (ton)	Q _d total (ton)	P (ton)	%P (ton)
1	R4x4.p3	9	8.49	16	5.54	165.05	2942.92	6%
2	R4x8.p3	21	8.17	24	4.90	289.17	6062.94	5%
3	R4x12.p3	33	6.65	32	3.53	332.41	8630.00	4%
4	E4x4.p3	12	6.65	12	5.03	140.16	2768.66	5%
5	E4x8.p3	25	5.67	17	3.53	201.76	5267.81	4%
6	E4x12.p3	32	5.81	30	3.85	301.42	8111.35	4%
7	R4x4.p5	9	9.68	16	6.36	188.88	4330.29	4%
8	R4x8.p5	21	7.85	24	4.66	276.69	8523.38	3%
9	R4x12.p5	33	8.82	32	5.28	460.02	12716.38	4%
10	E4x4.p5	12	9.50	12	5.22	176.64	4072.48	4%
11	E4x8.p5	23	8.01	19	4.42	268.21	8007.11	3%
12	E4x12.p5	32	8.66	30	5.15	431.62	11949.54	6%

En la tabla N°17 podemos observar que para todos los modelos Q_d se encuentra dentro del rango deseado, siendo este un indicador importante de verificación previa antes de proceder al análisis definitivo del sistema estructural.

Irregularidades: El sistema de aislamiento sísmico según la N.T.E. E.031 en el artículo 8 para una categoría A en una zona 4 no se permiten irregularidades extremas. En caso de nuestros modelos la irregularidad torsional es la única que podrían presentar, pero en ninguno de los casos el desplazamiento relativo máximo de entrepiso sobrepasa el 50% al desplazamiento permisible, por eso esta irregularidad quedaría descartada.

3.6.6 Diseño definitivo del sistema de aislamiento

Luego del análisis estático preliminar y el análisis modal espectral preliminar, procederemos con el diseño definitivo del sistema de aislamiento que a continuación desarrollaremos para el modelo R4x8.p5, este diseño nos servirá como ejemplo para detallar el procedimiento que se realizó para cada uno de los modelos.

3.6.6.1. Propiedades definitivas de los aisladores tipo LRB. Las propiedades iniciales que se utilizarán para el cálculo de los parámetros inelásticos de cada aislador serán detalladas en la Tabla N°18.

Tabla 18

Propiedades iniciales de los dispositivos tipo LRB para el modelo R4x8.p5

Parámetros elásticos nominales	LRB-1	LRB-2
Rigidez efectiva, K_{eff} (ton/m)	121.49	69.05
Amortiguamiento efectivo, β_{eff} (%)	15	15
Desplazamiento traslacional, DM (cm)	30.00	30.00

Luego de varios procesos de iteración, se determinarán los valores no lineales de los aisladores, estos se pueden observar en la Tabla N°19.

Tabla 19

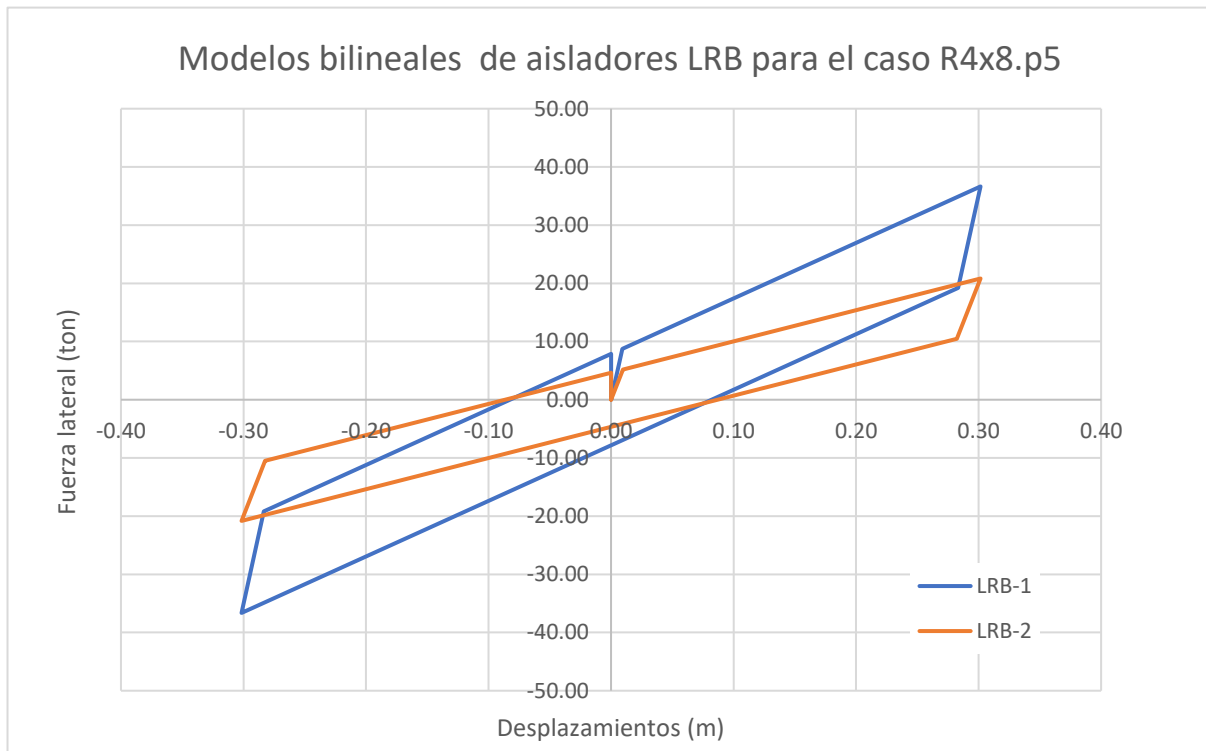
Parámetros no lineales de los dispositivos tipo LRB para el modelo R4x8.p5

Parámetros inelásticos nominales	LRB-1	LRB-2
Cantidad	21	24
Rigidez inicial, K_1 (ton/m)	954.48	536.06
Rigidez post-fluencia, K_d (ton/m)	95.45	53.61
Relación de rigideces, K_d/K_1	0.10	0.10
Fuerza de fluencia, F_y (ton)	8.73	5.17
Desplazamiento de fluencia, D_y (mm)	9.14	9.65
Resistencia característica, Q_d (ton)	7.85	4.66

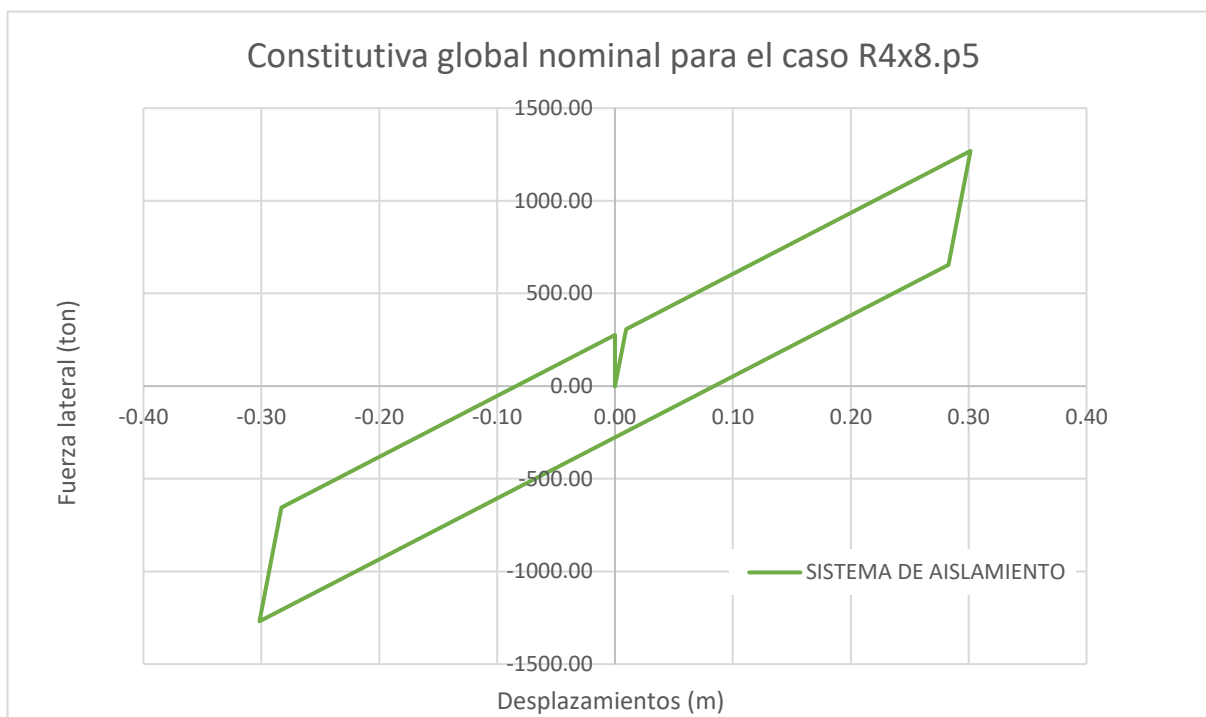
Obtenido los inelásticos nominales procederemos a graficar los modelos bilineales de cada uno de los aisladores y la constitutiva global nominal del sistema de aislamiento.

Figura 16

Modelos no lineales nominales de los dispositivos tipo LRB para el modelo R4x8.p5

**Figura 17**

Constitutiva global nominal del sistema de aislamiento para el modelo R4x8.p5



Para los modelos analizados se supuso aisladores del tipo LRB de clase I, que según la Tabla 19 se verán afectados por factores de modificación resumidos en la Tabla N°20.

Tabla 20

Factores de modificación para los dispositivos tipo LRB.

Factores de modificación	Kd	Qd
Límite superior, $\lambda_{\max}$	1.30	1.50
Límite inferior, $\lambda_{\min}$	0.80	0.80

Con estos factores se modificarán los parámetros nominales de los aisladores y se calcularán los modelos bilineales mínimos y máximos del sistema; así como los parámetros inelásticos con el límite superior e inferior de cada aislador.

Figura 18

Modelo bilineal del sistema con propiedades modificadas máximas, mínimas y nominales para el modelo R4x8.p5

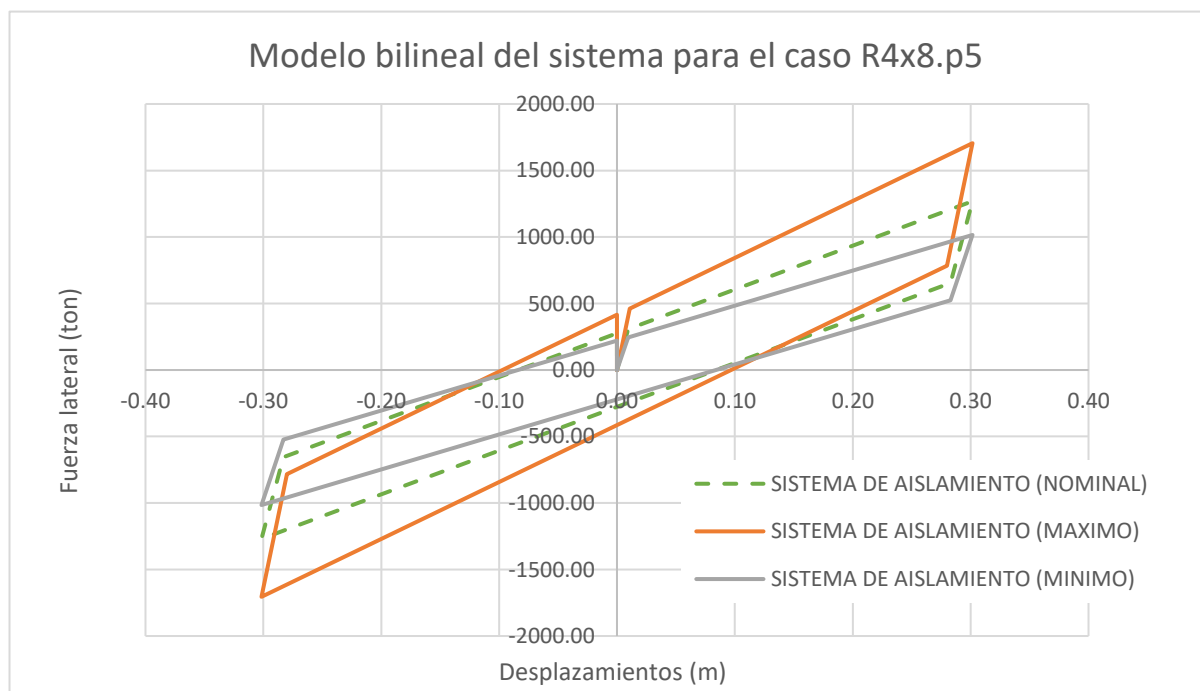


Tabla 21

Parámetros inelásticos modificados con límite superior R4x8.p5.

Parámetros inelásticos límite superior	LRB-1	LRB-2
Cantidad	21	24
Rigidez inicial, K1 (ton/m)	1240.82	696.88
Rigidez post-fluencia, Kd (ton/m)	124.08	69.69
Relación de rigideces, Kd/K1	0.10	0.10
Fuerza de fluencia, Fy (ton)	13.09	7.76
Desplazamiento de fluencia, Dy (mm)	10.55	11.14
Resistencia característica, Qd (ton)	11.78	6.98

Tabla 22

Parámetros inelásticos modificados con límite inferior R4x8.p5.

Parámetros inelásticos límite inferior	LRB-1	LRB-2
Cantidad	21	24
Rigidez inicial, K1 (ton/m)	763.58	428.85
Rigidez post-fluencia, Kd (ton/m)	76.36	42.89
Relación de rigideces, Kd/K1	0.10	0.10
Fuerza de fluencia, Fy (ton)	6.98	4.14
Desplazamiento de fluencia, Dy (mm)	9.14	9.65
Resistencia característica, Qd (ton)	6.28	3.73

Para el diseño con análisis modal espectral los valores mínimos de las fuerzas y los desplazamientos según la NTE E.031 serán los mostrados en la Tabla N°23.

Tabla 23

Fuerzas y desplazamientos mínimos E.031- modal espectral R4x8.p5

Fuerzas y desplazamientos mínimos - modal espectral	Valor mínimo
Cortante de diseño de la superestructura, Vs (ton)	Max [90% Vs ; Vb _{esp}]
Cortante de diseño del sistema de aislamiento, Vb (ton)	Max [100% Vb ; Vs _{esp}]
Desplazamiento total máximo, DTM (m)	Max [80% DTM ; DTM _{esp}]
Derivas máximas, (‰)	$\Delta_{esp} < 0.0035$
Aceleraciones máximas, (g)	$a_{esp} < 0.3g$

Tabla 24*Fuerzas laterales con propiedades de límite superior – análisis modal espectral R4x8.p5*

Fuerza	A. Estático		A. Modal espectral		Factor de escalamiento	
			X	Y	X	Y
Vs (ton)	100% Vs	971.20	944.64	943.18	1.03	1.03
Vb (ton)	90% Vb	1024.34	1208.81	1204.07	1.00	1.00

Tabla 25*Desplazamiento con propiedades de límite inferior – análisis modal espectral R4x8.p5*

Desplazamiento	A. Estático		A. Modal espectral	
			X	Y
DTM (m)	80% DTM	0.24	0.26	0.29

Tabla 26*Aceleración y deriva con propiedades de límite superior – análisis modal espectral*

	A. Modal espectral	
	X	Y
Deriva máxima (‰)	0.0018	0.0022
Aceleración máxima (g)	0.15	0.16

De la Tabla N°24 se puede concluir que para el diseño de la superestructura se deberá utilizar un Vs=971.20 ton, este valor se conseguirá luego de la aplicación de los factores de escalamiento respectivos.

En la Tabla N°26 logramos verificar que la deriva y la aceleración máxima están por debajo de los valores máximos recomendados por la NTE E.031 mencionados en la tabla N°23.

Tabla 27*Cuadro resumen de fuerzas y desplazamientos – análisis modal espectral*

N°	Modelo	Análisis Modal Espectral								
		Vs (ton)		Vb (ton)		DTM (m)	aceleración (g)		Deriva (°/oo)	
		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	519.94	519.94	646.45	646.46	0.32	0.23	0.23	0.0016	0.0016
2	R4x8.p3	893.66	893.66	1034.88	1034.75	0.29	0.18	0.18	0.0011	0.0014
3	R4x12.p3	1061.94	1061.94	1355.75	1355.64	0.32	0.16	0.16	0.0010	0.0014
4	E4x4.p3	445.93	445.93	558.73	558.74	0.33	0.21	0.21	0.0015	0.0015
5	E4x8.p3	646.61	646.61	819.34	818.39	0.30	0.16	0.16	0.0011	0.0014
6	E4x12.p3	962.06	962.06	1209.54	1209.47	0.31	0.15	0.15	0.0010	0.0014
7	R4x4.p5	655.76	655.76	692.21	692.21	0.29	0.16	0.16	0.0020	0.0020
8	R4x8.p5	971.20	971.20	1024.34	1024.34	0.29	0.15	0.16	0.0018	0.0022
9	R4x12.p5	1606.72	1606.72	1811.10	1803.66	0.30	0.15	0.16	0.0017	0.0023
10	E4x4.p5	616.51	616.51	675.02	675.13	0.30	0.19	0.19	0.0024	0.0024
11	E4x8.p5	924.35	924.35	1191.90	1195.17	0.31	0.16	0.17	0.0019	0.0025
12	E4x12.p5	1509.17	1509.17	1719.48	1718.84	0.31	0.16	0.16	0.0017	0.0025

En la Tabla N°27 podemos verificar que en todos los modelos analizados tenemos derivas menores a 0.0035, siendo el máximo valor de derivas 0.0025 en los modelos E4x12.p5 e E4x8.p5. Las aceleraciones obtenidas también se encuentran por debajo de 0.3g, siendo el máximo valor 0.19g en el modelo E4x4.p5.

Luego de la verificación de estas fuerzas y desplazamientos que mostramos en la Tabla N°27 para cada modelo podremos continuar con el análisis tiempo historia no lineal.

3.6.7 Análisis tiempo historia

3.6.7.1. Registros sísmicos. Para el análisis tiempo historia se emplearon siete pares registros sísmicos, los cuales fueron corregidos y escalados para ser compatibles con el espectro de diseño planteado por la norma E.031.

La corrección por línea base y el filtrado de frecuencia se realizaron en el programa SeismoSignal, la corrección por línea base nos ayudara a corregir el error de la posición inicial con respecto al eje y el filtrado nos ayudara a corregir frecuencias fuera de la banda de

frecuencias. Para el escalamiento de registros el rango a escalar estará entre $0.20T_M$ y $1.25T_M$ ya que son registros espectro-compatibles.

Entre los registros escogidos se encuentran los más importantes ocurridos en Perú en los años 1966, 1970 y 1974. Estos registros fueron escogidos ya que pertenecen a eventos de subducción con foco superficial, siendo estas las características de los sismos en la ubicación de los modelos diseñados.

El espectro de objetivo a utilizar para el escalado de los registros será de un sismo de 2500 años de periodo de retorno y un amortiguamiento del 5%.

Tabla 28

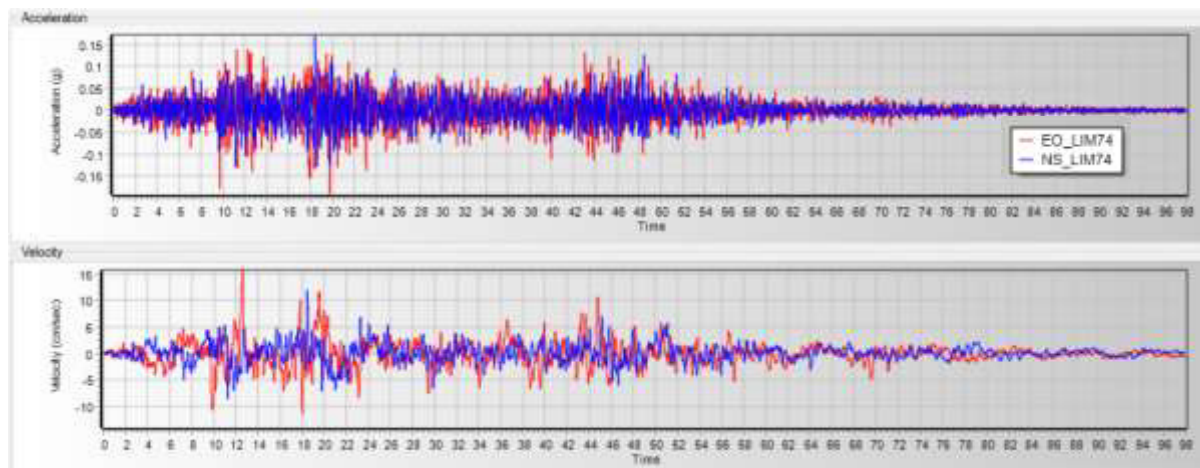
Pares de registros sísmicos considerados

N°	Sismo	Estación	Magnitud	PGA (cm/s ²)		Duración (seg)
				EW	NS	
1	Lima 1966	Parque de la reserva-PRQ	8.1 Mw	180.56	268.24	65.64
2	Lima 1974	Parque de la reserva-PRQ	6.6 Mb	194.21	180.09	97.96
3	Lima 1991	Parque de la reserva-LIM005	5.7 Mw	35.18	27.5	40.94
4	Lima 1970	Parque de la reserva-PRQ	6.6 Mb	105.05	97.81	45.08
5	Arequipa 2001	César Vizcarra Vargas-MOQ001	6.9 Mb	295.15	219.99	198.91
6	Arequipa 2001	UNSA-AQP001	6.5 Mb	123.21	120.52	137.96
7	Pisco 2007	Jorge Alva Hurtado-LIM001	7.0 ML	73.89	46.89	326.99

Como ejemplo detallaremos el proceso de corrección y escalado de uno de los registros sísmicos usados para el análisis de nuestros modelos, el registro tomado será el ocurrido en lima en el año 1974.

Figura 19

Registro de aceleración y velocidad para las componentes horizontales E-O y N-S del registro Lima 1974 (Software SeismoMatch)

**Figura 20**

Registro de aceleración, velocidad y desplazamiento corregido y filtrado para la componente horizontal E-O del registro Lima 1974 (Software SeismoSignal)

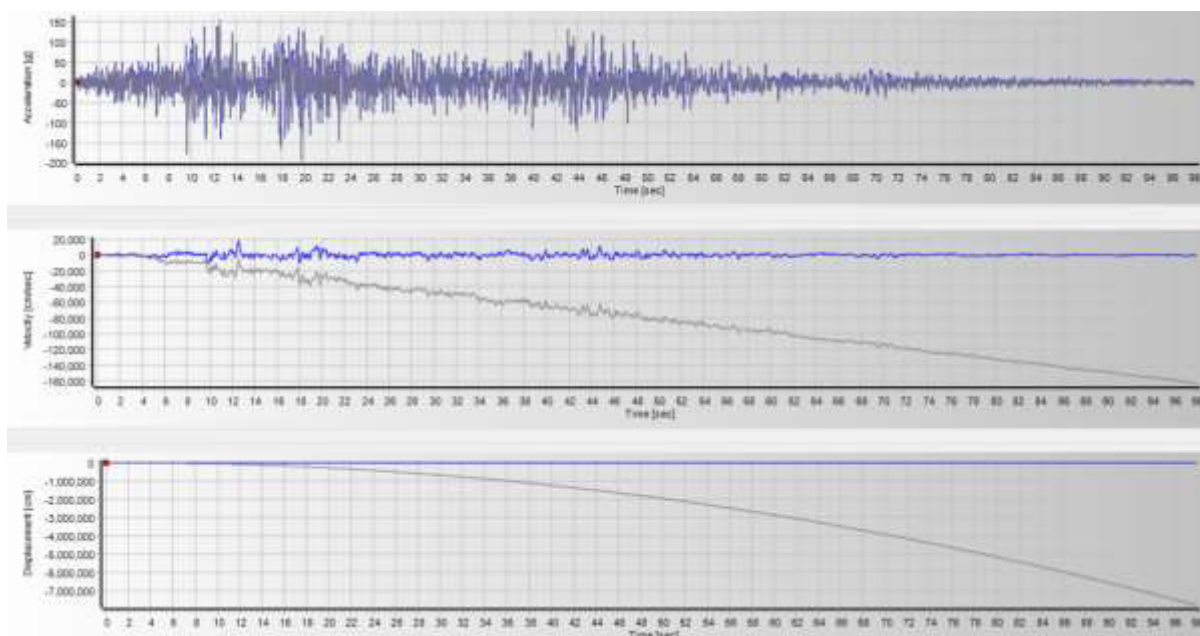
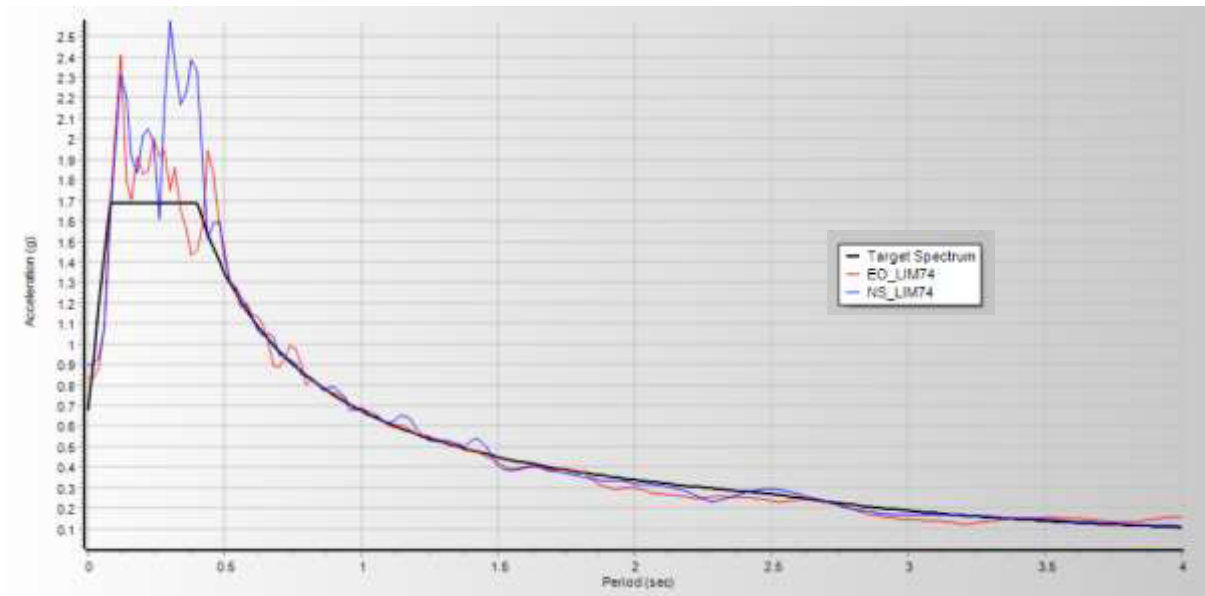
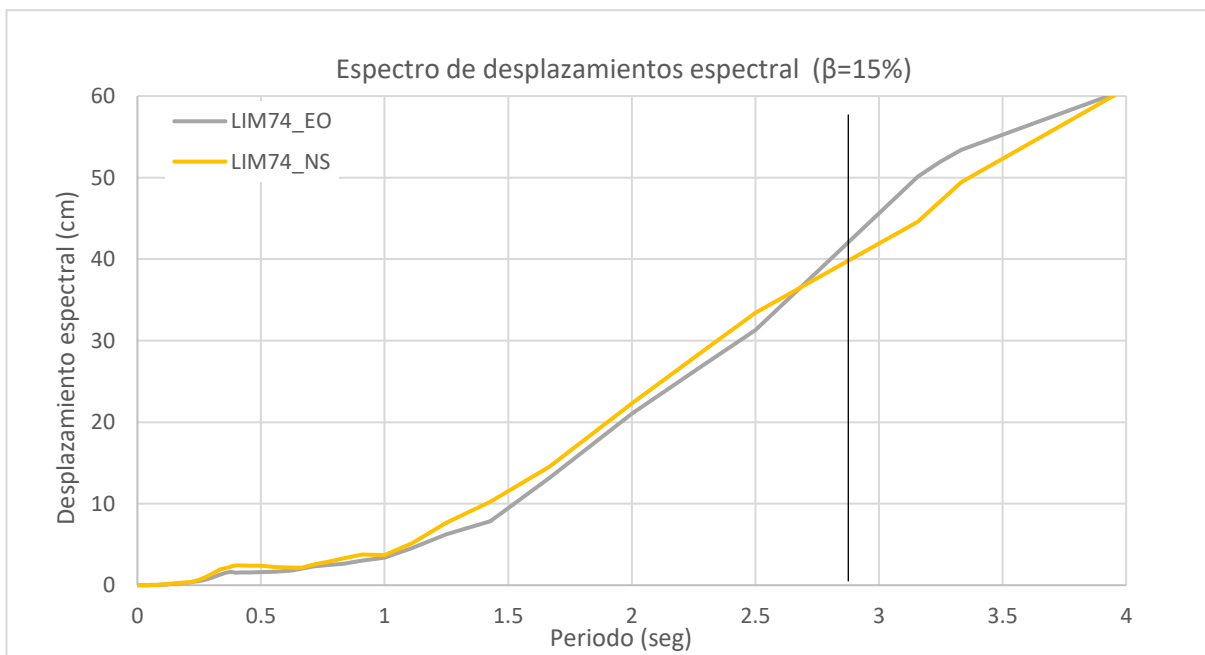


Figura 19

Espectro de pseudo-aceleraciones del registro sísmico LIM74 escalado con el Software SeismoMatch

**Figura 20**

Espectro de desplazamiento espectral del registro sísmico LIM74



Después del escalado se determinó el componente predominante en cada par de registros. La Figura 20 nos muestra que en el caso del modelo R4x4xp5, con un periodo de base aislada igual a 2.76 seg el componente predominante para el registro sísmico LIM74 es E-O al cual se le asignara la participación de 90% en la dirección de análisis y al componente N-S se le asignara 44% en la dirección perpendicular.

Luego de determinar el componente predominante para cada par de registros se asignarán los casos de demanda sísmica, donde la componente predominante será la de mayor participación en cada dirección de análisis para cada caso de carga.

3.6.7.2. Verificación de derivas. Las derivas máximas fueron halladas del promedio de las derivas obtenidas de cada registro sísmico, estas analizadas con las propiedades modificadas del límite superior. Según la norma E031 el valor de la deriva para el análisis tiempo historia debería ser como máximo de 5‰. Pero según la metodología HAZUS el valor máximo sugerido de la deriva para no presentar daños significativos en los elementos estructurales y no estructurales para nuestro tipo de edificación seria de 3‰.

A continuación, colocaremos el resumen de las derivas promedio por piso del modelo R4x4x5p, con su respectivo gráfico, como ejemplo de cómo fueron obtenidas para cada modelo en el cuadro resumen siguiente.

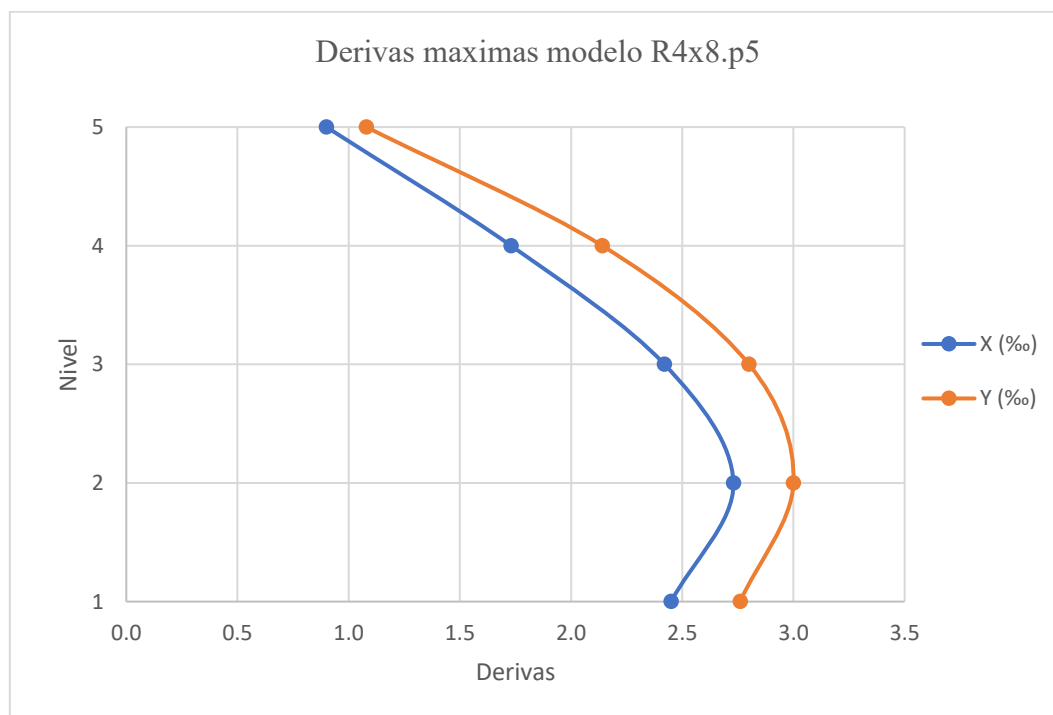
Tabla 29

Deriva promedio máximas modelo R4x8.p5 - TH

Modelo R4x8.p5		
Niveles	Derivas máximas	
	X (‰)	Y (‰)
5	0.90	1.08
4	1.73	2.14
3	2.42	2.80
2	2.73	3.00
1	2.45	2.76

Figura 21

Deriva promedio máximas promedio modelo R4x4xp5 – TH

**Tabla 30**

Resumen de derivas promedio máximas - TH

Nº	Modelo	Derivas máx.	
		Tiempo Historia	
		X	Y
1	R4x4.p3	0.0017	0.0017
2	R4x8.p3	0.0014	0.0016
3	R4x12.p3	0.0013	0.0015
4	E4x4.p3	0.0017	0.0017
5	E4x8.p3	0.0014	0.0015
6	E4x12.p3	0.0013	0.0015
7	R4x4.p5	0.0026	0.0025
8	R4x8.p5	0.0027	0.0030
9	R4x12.p5	0.0024	0.0029
10	E4x4.p5	0.0030	0.0030
11	E4x8.p5	0.0026	0.0028
12	E4x12.p5	0.0024	0.0031

De la Tabla 30 se verifica que todas las derivas obtenidas son menores a lo recomendado por la metodología HAZUS, siendo el máximo valor obtenido el de 0.0030 en la dirección ‘‘X’’ y 0.0030 en la dirección ‘‘Y’’.

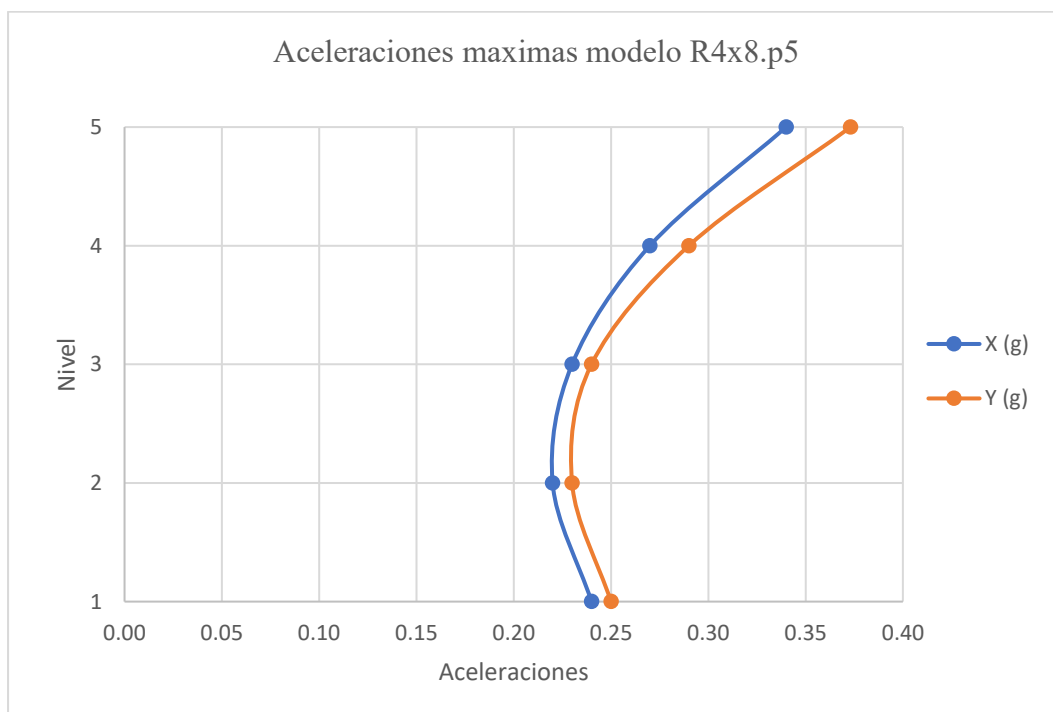
3.6.7.3. Verificación de aceleraciones. Las aceleraciones máximas fueron halladas del promedio de las aceleraciones obtenidas de cada registro sísmico con las propiedades modificadas del límite superior, según la metodología HAZUS el valor máximo sugerido de la aceleración para no presentar daños significativos en los elementos estructurales y no estructurales para nuestro tipo de edificación sería de 0.3g.

A continuación, colocaremos el resumen de las aceleraciones promedio por piso del modelo R4x4x5p, con su respectivo gráfico, como ejemplo de cómo fueron obtenidas para cada modelo en el cuadro resumen siguiente.

Tabla 31

Aceleraciones promedio máximas modelo R4x4.p5 – TH

Modelo R4x8.p5		
Niveles	Aceleraciones máximas	
	X (g)	Y (g)
5	0.34	0.37
4	0.27	0.29
3	0.23	0.24
2	0.22	0.23
1	0.24	0.25

Figura 22*Aceleraciones promedio máximas modelo R4x4.p5 – TH***Tabla 32***Resumen de aceleraciones promedio máximas azotea - TH*

Nº	Modelo	Aceleración máx. (g)	
		Tiempo Historia	
		X	Y
1	R4x4.p3	0.39	0.39
2	R4x8.p3	0.35	0.36
3	R4x12.p3	0.29	0.28
4	E4x4.p3	0.40	0.40
5	E4x8.p3	0.29	0.30
6	E4x12.p3	0.29	0.30
7	R4x4.p5	0.34	0.34
8	R4x8.p5	0.34	0.37
9	R4x12.p5	0.33	0.33
10	E4x4.p5	0.40	0.39
11	E4x8.p5	0.33	0.35
12	E4x12.p5	0.33	0.34

Tabla 33*Resumen de aceleraciones promedio máximas 2do y 4to nivel - TH*

N°	Modelo	Aceleración máx. (g)	
		Tiempo Historia	
		X	Y
1	R4x4.p3	0.26	0.26
2	R4x8.p3	0.25	0.25
3	R4x12.p3	0.21	0.21
4	E4x4.p3	0.27	0.27
5	E4x8.p3	0.21	0.21
6	E4x12.p3	0.22	0.21
7	R4x4.p5	0.26	0.26
8	R4x8.p5	0.27	0.29
9	R4x12.p5	0.26	0.26
10	E4x4.p5	0.30	0.29
11	E4x8.p5	0.24	0.25
12	E4x12.p5	0.27	0.27

De las Tablas N°32 y N°33 se verifica que todas las aceleraciones obtenidas en los pisos intermedios son menores a lo recomendado por la metodología HAZUS, siendo el máximo valor obtenido el de 0.30g en la dirección X y 0.29g en la dirección Y.

Esto no se vería reflejado en el último nivel donde las aceleraciones llegan a de 0.4g en la dirección X y 0.40g en la dirección Y. Sin embargo, este último nivel esta asignado como azotea y aunque la aceleración es mayor a la sugerida no afectaría elementos no estructurales significativos.

3.6.7.4. Desplazamiento máximo. El desplazamiento máximo y desplazamiento total máximo de los modelos fueron calculados con las propiedades de límite inferior, El desplazamiento máximo fue hallado en el centro de masa y el desplazamiento total máximo fue hallado en el aislador más alejado del centro de coordenadas. En la Tabla N°34 se presenta el resumen de los valores hallados para cada modelo.

Tabla 34*Resumen de DM Y DTM - TH*

N°	Modelo	DM (cm)		DTM (cm)	
		X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	23.02	23.02	23.02	23.02
2	R4x8.p3	26.08	26.09	26.08	26.09
3	R4x12.p3	29.48	29.47	29.48	29.47
4	E4x4.p3	26.81	26.81	26.83	26.82
5	E4x8.p3	29.42	29.43	29.51	29.98
6	E4x12.p3	30.02	29.96	30.17	30.11
7	R4x4.p5	30.78	30.78	30.78	30.78
8	R4x8.p5	34.57	43.49	34.57	43.49
9	R4x12.p5	30.91	30.72	30.91	30.72
10	E4x4.p5	24.96	24.93	25.08	25.05
11	E4x8.p5	30.56	30.52	30.83	31.70
12	E4x12.p5	31.04	30.85	31.06	30.87

3.6.7.5. Fuerza lateral de la subestructura y del sistema de aislamiento (Vb). Las

fuerzas laterales Vb fueron halladas del promedio de las fuerzas obtenidas de cada registro sísmico con las propiedades modificadas del límite superior. En la Tabla N°35 se presenta el resumen de los valores hallados para cada modelo.

Tabla 35*Resumen de Vb - TH*

N°	Modelo	Vb (ton)	
		X	Y
1	R4x4.p3	556.89	556.86
2	R4x8.p3	1075.79	1077.47
3	R4x12.p3	1482.03	1479.92
4	E4x4.p3	536.05	536.15
5	E4x8.p3	903.57	889.30
6	E4x12.p3	1562.77	1565.69
7	R4x4.p5	689.94	689.95
8	R4x8.p5	1663.72	1672.04
9	R4x12.p5	2087.98	2081.27
10	E4x4.p5	708.64	707.89
11	E4x8.p5	1284.93	1271.51
12	E4x12.p5	1985.17	1990.41

3.6.7.6. Fuerza lateral de la superestructura (V_s). Las fuerzas laterales V_s fueron halladas del promedio de las fuerzas obtenidas de **cada registro** sísmico con las propiedades modificadas del límite superior.

En la Tabla N°36 se presenta el resumen de los valores hallados para cada modelo.

Tabla 36

Resumen de V_s - TH

N°	Modelo	Vs (ton)	
		X	Y
1	R4x4.p3	482.67	482.71
2	R4x8.p3	879.61	885.38
3	R4x12.p3	1170.28	1129.59
4	E4x4.p3	449.62	450.21
5	E4x8.p3	709.66	687.54
6	E4x12.p3	1068.03	1068.37
7	R4x4.p5	594.68	594.58
8	R4x8.p5	1416.64	1414.70
9	R4x12.p5	1831.69	1810.86
10	E4x4.p5	643.19	640.70
11	E4x8.p5	1082.09	1103.42
12	E4x12.p5	1736.52	1708.48

3.6.8 Parámetros finales para aisladores

Luego del proceso de verificación de desplazamientos y aceleraciones del análisis tiempo historia, podremos definir las propiedades finales de los aisladores en cada uno de los modelos, estos serán resumidos en la Tabla 37 y 38.

Tabla 37*Resumen de propiedades de los aisladores*

N°	Modelo	LRB-1					
		Cant.	Keff (ton/m)	K1 (ton/m)	Kd (ton/m)	Fy (ton)	Qd (ton)
1	R4x4.p3	9	128.76	952.25	95.23	9.44	8.49
2	R4x8.p3	21	122.98	953.38	95.34	9.08	8.17
3	R4x12.p3	33	102.23	801.86	80.19	7.39	6.65
4	E4x4.p3	12	104.14	801.86	80.19	7.39	6.65
5	E4x8.p3	25	85.02	662.07	66.21	6.31	5.67
6	E4x12.p3	32	85.42	661.60	66.16	6.45	5.81
7	R4x4.p5	9	126.90	948.15	94.81	10.75	9.68
8	R4x8.p5	21	121.49	954.48	95.45	8.73	7.85
9	R4x12.p5	33	124.37	951.11	95.11	9.81	8.82
10	E4x4.p5	12	143.43	1119.19	111.92	10.56	9.50
11	E4x8.p5	23	121.96	953.93	95.39	8.90	8.01
12	E4x12.p5	32	123.88	951.68	95.17	9.62	8.66

Tabla 38*Resumen de propiedades de los aisladores*

N°	Modelo	LRB-2					
		Cant.	Keff (ton/m)	K1 (ton/m)	Kd (ton/m)	Fy (ton)	Qd (ton)
1	R4x4.p3	16	75.17	532.99	53.30	6.16	5.54
2	R4x8.p3	24	58.52	419.31	41.93	5.45	4.90
3	R4x12.p3	32	54.10	424.09	42.41	3.92	3.53
4	E4x4.p3	12	71.59	534.78	53.48	5.59	5.03
5	E4x8.p3	17	54.10	424.09	42.41	3.92	3.53
6	E4x12.p3	30	55.06	422.97	42.30	4.28	3.85
7	R4x4.p5	16	74.11	530.14	53.01	7.07	6.36
8	R4x8.p5	24	69.05	536.06	53.61	5.17	4.66
9	R4x12.p5	32	70.90	533.90	53.39	5.87	5.28
10	E4x4.p5	12	70.71	534.12	53.41	5.80	5.22
11	E4x8.p5	19	68.34	536.89	53.69	4.91	4.42
12	E4x12.p5	30	70.52	534.34	53.43	5.73	5.15

La disposición final de los aisladores será la misma a la planteada inicialmente en las Figuras 6, 7, 8, 9,10,11,12 y 13.

3.7 Análisis de datos

El análisis de datos se llevará cabo mediante estadística descriptiva, utilizando tablas y cuadros donde se evaluarán resultados de cada uno de los indicadores, para llegar a conclusiones.

IV. RESULTADOS

4.1 Derivas máximas

Las derivas máximas promedio de los modelos fueron halladas del análisis tiempo historia con propiedades de límite superior, a continuación, detallaremos el resumen de valores en la Tabla 39 con sus respectivos gráficos en dirección “X” e “Y”.

Tabla 39

Resumen de derivas máximas

Nº	Modelo	Derivas máx.			
		Modal Espectral		Tiempo Historia	
		X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017
2	R4x8.p3	0.0011	0.0014	0.0014	0.0016
3	R4x12.p3	0.0010	0.0014	0.0013	0.0015
4	E4x4.p3	0.0015	0.0015	0.0017	0.0017
5	E4x8.p3	0.0011	0.0014	0.0014	0.0015
6	E4x12.p3	0.0010	0.0014	0.0013	0.0015
7	R4x4.p5	0.0020	0.0020	0.0026	0.0025
8	R4x8.p5	0.0018	0.0022	0.0027	0.0030
9	R4x12.p5	0.0017	0.0023	0.0024	0.0029
10	E4x4.p5	0.0024	0.0024	0.0030	0.0030
11	E4x8.p5	0.0019	0.0025	0.0026	0.0028
12	E4x12.p5	0.0017	0.0025	0.0024	0.0031

Según los valores resumidos en la Tabla 39 se concluye que el valor de las derivas máximas obtenidas de los modelos analizados con análisis sísmico tiempo historia son iguales o menores a lo recomendado (3%) según la metodología HAZUS, teniendo los valores un máximo de 0.003 en la dirección “X” y 0.003 en la dirección “Y” presentado en el modelo E4x4.p5, y un valor mínimo de 0.0013 en la dirección “X” y de 0.0015 en la dirección “Y” en los modelos R4x12.p3. Obteniendo así mayores derivas para los modelos con forma en planta de 1:1.

A continuación, se presentarán tablas y figuras que nos ayudarán a determinar cómo afecta la variación de altura para una misma forma en planta en los valores de las derivas máximas.

Figura 23

Cuadro comparativo de deriva máxima – (X)

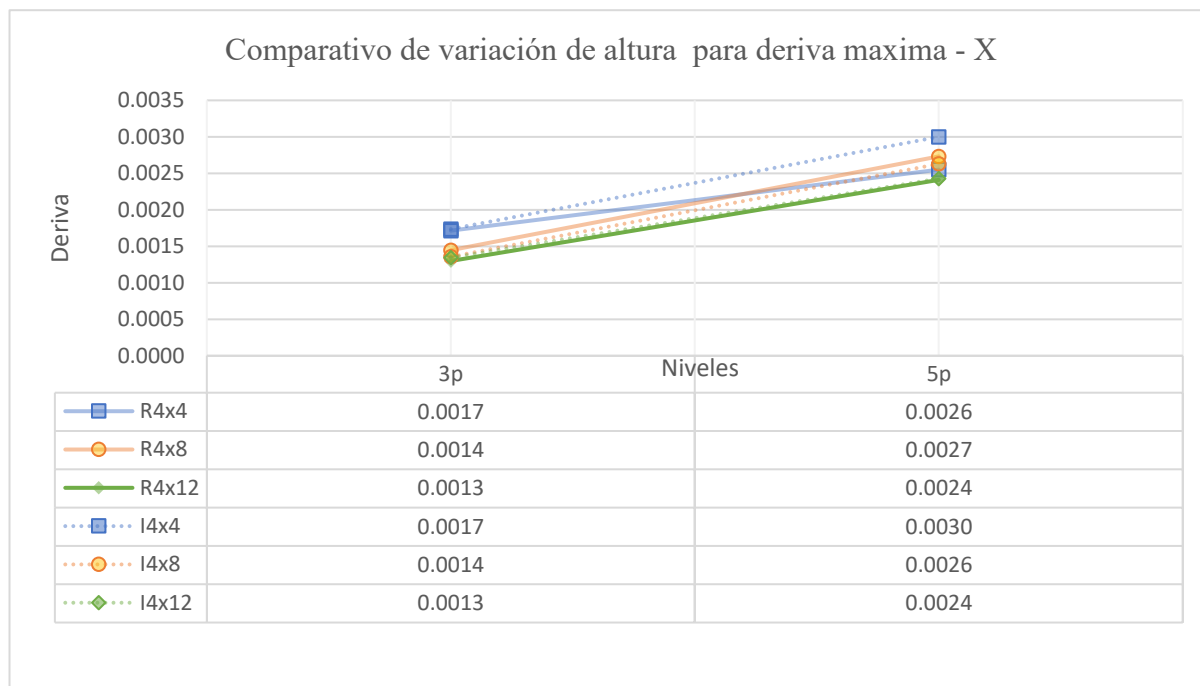


Figura 24

Cuadro comparativo de deriva máxima – (Y)

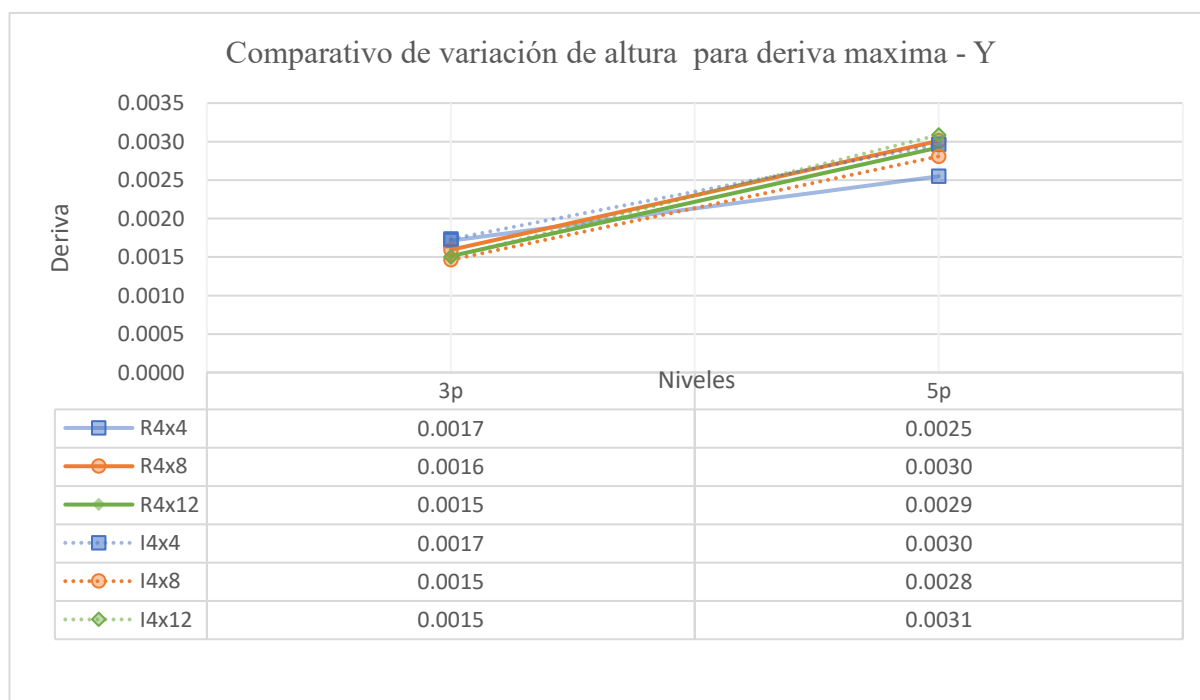


Tabla 40*Comparativo de variación de altura y en planta para deriva máxima TH*

N°	Modelo	Derivas máx.					
		Tiempo Historia		Planta		Altura (P5/P3)	
		X	Y	X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	0.0017	0.0017	1.00	1.00	1.49	1.49
2	R4x8.p3	0.0014	0.0016	0.84	0.93	1.89	1.89
3	R4x12.p3	0.0013	0.0015	0.76	0.88	1.86	1.93
4	E4x4.p3	0.0017	0.0017	1.01	1.01	1.73	1.71
5	E4x8.p3	0.0014	0.0015	0.79	0.85	1.94	1.92
6	E4x12.p3	0.0013	0.0015	0.78	0.88	1.81	2.06
7	R4x4.p5	0.0026	0.0025	1.49	1.49		
8	R4x8.p5	0.0027	0.0030	1.59	1.76		
9	R4x12.p5	0.0024	0.0029	1.41	1.71		
10	E4x4.p5	0.0030	0.0030	1.75	1.73		
11	E4x8.p5	0.0026	0.0028	1.53	1.64		
12	E4x12.p5	0.0024	0.0031	1.42	1.80		

De las Figuras 25 y 26 podemos determinar que al comparar las derivas máximas para modelos con variación de altura con la misma configuración en planta se presentan menores derivas en los casos de tres pisos respecto a los de cinco pisos. También gracias a las proporciones obtenidas al comparar los valores de las derivas de los modelos de tres pisos respecto a los de cinco pisos (P5/P3) resumidos en la Tabla 40 se logra observar que existen mayores proporciones en los modelos alargados (1:2 y 1:3), donde en el caso más crítico se tiene una proporción de 2.06 en la dirección “Y” obtenido de comparar los modelos E4x12.p3 con E4x12.p5, y en el caso menos crítico se obtiene una proporción de 1.49 en la dirección “X” obtenido de comparar el modelo R4x4.p3 e R4x4.p5. Determinando así que la variación de altura para modelos con la misma configuración en planta influye significativamente en las derivas máximas obtenidas, teniendo esta mayor incidencia en los modelos más alargados con forma en planta de 1:3.

De las proporciones obtenidas al comparar los valores de las derivas de los modelos con diferente forma en planta resumidos en la Tabla 40 se logra observar que se presentan mayores derivas en los modelos menos alargados con esquina entrante y de mayor altura, donde se obtiene en el caso más crítico una proporción de 1.75 en la dirección “X” obtenido en el modelo E4x4.p5 y en el caso menos crítico se obtiene una proporción de 0.76 en la dirección “X” obtenido en el modelo R4x12.p3. Determinando así que la variación de configuración en planta para modelos con la misma altura influye significativamente en las derivas máximas, teniendo esta mayor incidencia en los modelos menos alargados con forma en planta de 1:1.

4.2 Aceleraciones máximas

Las aceleraciones máximas promedio de los modelos fueron halladas del análisis tiempo historia con propiedades de límite superior a continuación, detallaremos el resumen de valores en la Tabla 41 con sus respectivos gráficos en dirección “X” e “Y”.

Tabla 41

Resumen de aceleraciones máximas

N°	Modelo	Aceleración máx. (g)			
		Modal Espectral		Tiempo Historia	
		X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	0.23	0.23	0.26	0.26
2	R4x8.p3	0.18	0.18	0.25	0.25
3	R4x12.p3	0.16	0.16	0.21	0.21
4	E4x4.p3	0.21	0.21	0.27	0.27
5	E4x8.p3	0.16	0.16	0.21	0.21
6	E4x12.p3	0.15	0.15	0.22	0.21
7	R4x4.p5	0.16	0.16	0.26	0.26
8	R4x8.p5	0.15	0.16	0.27	0.29
9	R4x12.p5	0.15	0.16	0.26	0.26
10	E4x4.p5	0.19	0.19	0.30	0.29
11	E4x8.p5	0.16	0.17	0.24	0.25
12	E4x12.p5	0.16	0.16	0.27	0.27

Los valores de las aceleraciones máximas halladas en el análisis sísmico tiempo historia resumidos en la Tabla 41 serán determinadas de las aceleraciones máximas halladas en los niveles inferiores a la azotea, ya que el ultimo nivel asignado como azotea no se encontrarían elementos no estructurales significativos, en consecuencia, no se tomará en consideración para este análisis.

Según los valores resumidos en la Tabla 41 se concluye que el valor de las aceleraciones máximas obtenidas de los modelos analizados con análisis sísmico tiempo historia tendrán un valor igual o inferior de lo recomendado (0.3g) según la metodología HAZUS, teniendo los valores un máximo de 0.3g en la dirección ‘‘X’’ y 0.29g en la dirección ‘‘Y’’ presentado en el modelo E4x4.p5, y un valor mínimo de 0.21g en la dirección ‘‘X’’ e ‘‘Y’’ en los modelos R4x12.p3 e E4x8.p3. Obteniendo así mayores aceleraciones para los modelos con forma en planta de 1:1.

A continuación, se presentarán tablas y figuras que nos ayudarán a determinar cómo afecta la variación de altura para una misma forma en planta en los valores de las aceleraciones máximas.

Figura 25

Cuadro comparativo de aceleración máxima – (X)

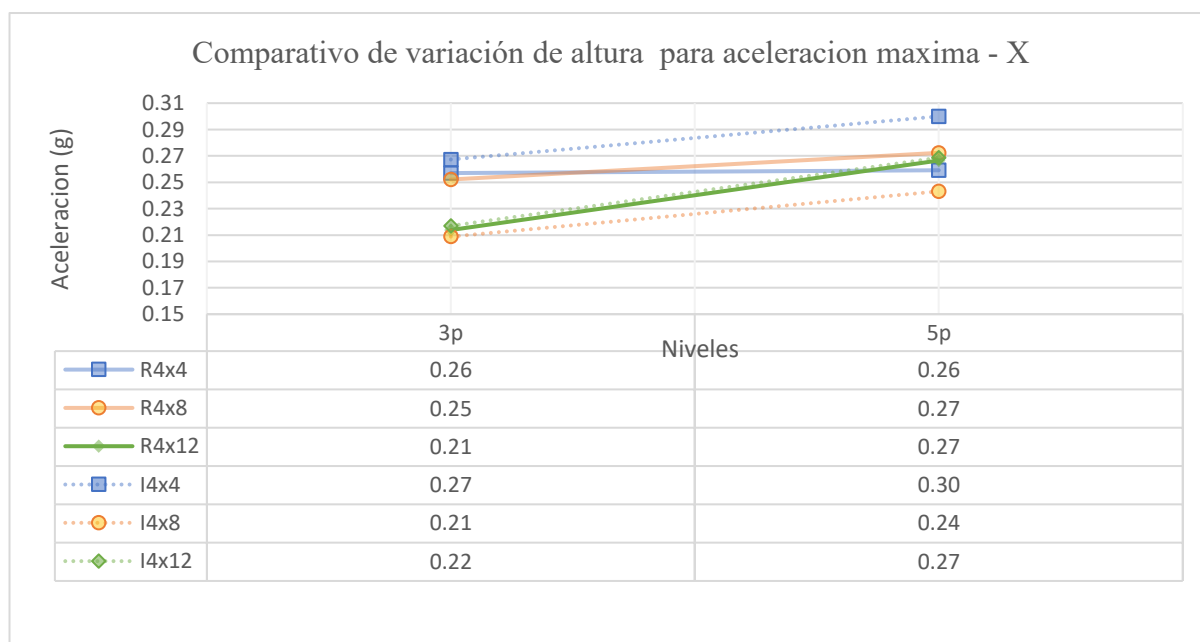
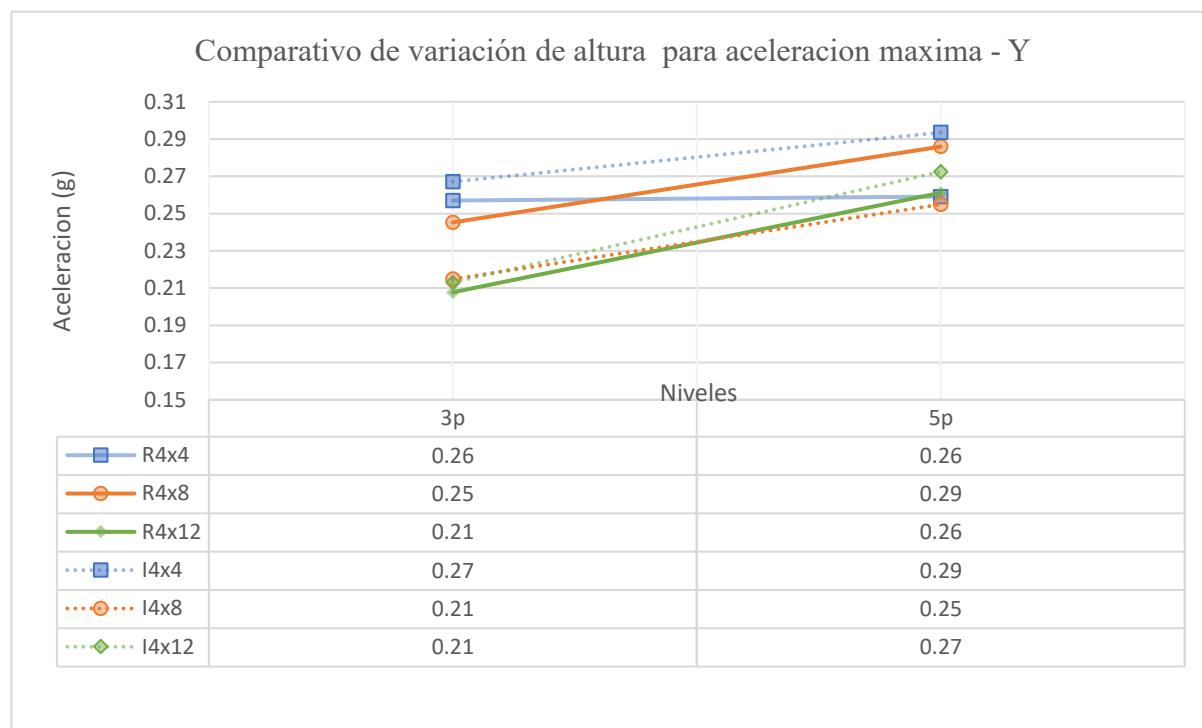


Figura 26

Cuadro comparativo de aceleración máxima – (Y)

**Tabla 42**

Comparativo de variación de altura y en planta para aceleración máxima TH

N°	Modelo	Aceleración máx. (g)					
		Tiempo Historia		Planta		Altura (P5/P3)	
		X	Y	X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	0.26	0.26	1.00	1.00	1.01	1.01
2	R4x8.p3	0.25	0.25	0.98	0.95	1.08	1.17
3	R4x12.p3	0.21	0.21	0.83	0.81	1.20	1.26
4	E4x4.p3	0.27	0.27	1.04	1.04	1.12	1.10
5	E4x8.p3	0.21	0.21	0.81	0.84	1.16	1.19
6	E4x12.p3	0.22	0.21	0.84	0.83	1.24	1.28
7	R4x4.p5	0.26	0.26	1.01	1.01		
8	R4x8.p5	0.27	0.29	1.06	1.11		
9	R4x12.p5	0.26	0.26	1.00	1.02		
10	E4x4.p5	0.30	0.29	1.17	1.14		
11	E4x8.p5	0.24	0.25	0.95	0.99		
12	E4x12.p5	0.27	0.27	1.05	1.06		

De las Figuras 27 y 28 podemos determinar que al comparar las aceleraciones máximas para modelos con variación de altura con la misma configuración en planta se presentan menores aceleraciones en los casos de tres pisos respecto a los de cinco pisos. También gracias a las proporciones obtenidas al comparar los valores de las aceleraciones de los modelos de tres pisos respecto a los de cinco pisos (P5/P3) resumidos en la Tabla 42 se logra observar que existe mayor diferencia en proporción en los modelos más alargados (1:3), donde en el caso más crítico se tiene una proporción de 1.28 en la dirección ‘‘Y’’ obtenido de comparar los modelos E4x12.p3 con E4x12.p5, y en el caso menos crítico se obtiene una proporción de 1.01 en la dirección ‘‘X’’ obtenido de comparar el modelo R4x4.p3 e R4x4.p5. Determinando así que la variación de altura para modelos con la misma configuración en planta influye significativamente en las aceleraciones máximas obtenidas, teniendo esta mayor incidencia en los modelos más alargados con forma en planta de 1:3.

De las proporciones obtenidas al comparar los valores de las aceleraciones máximas de los modelos con diferente forma en planta resumidos en la Tabla 42 se logra observar que se presentan mayores aceleraciones en los modelos menos alargados con esquina entrante y de mayor altura, donde se obtiene en el caso más crítico una proporción de 1.17 en la dirección ‘‘X’’ obtenido en el modelo E4x4.p5 y en el caso menos crítico se obtiene una proporción de 0.81 en la dirección ‘‘Y’’ obtenido en el modelo R4x12.p3. Determinando así que la variación de configuración en planta para modelos con la misma altura influye significativamente en las aceleraciones máximas, teniendo esta mayor incidencia en los modelos menos alargados con forma en planta de 1:1.

4.3 Fuerza lateral de la subestructura y del sistema de aislamiento (Vb)

Las fuerzas laterales promedio de la subestructura de los modelos fueron halladas del análisis tiempo historia con propiedades de límite superior a continuación, detallaremos el resumen de valores en la Tabla 43 con sus respectivos gráficos en dirección ‘‘X’’ e ‘‘Y’’.

Tabla 43

Resumen de fuerzas laterales de la subestructura máximas

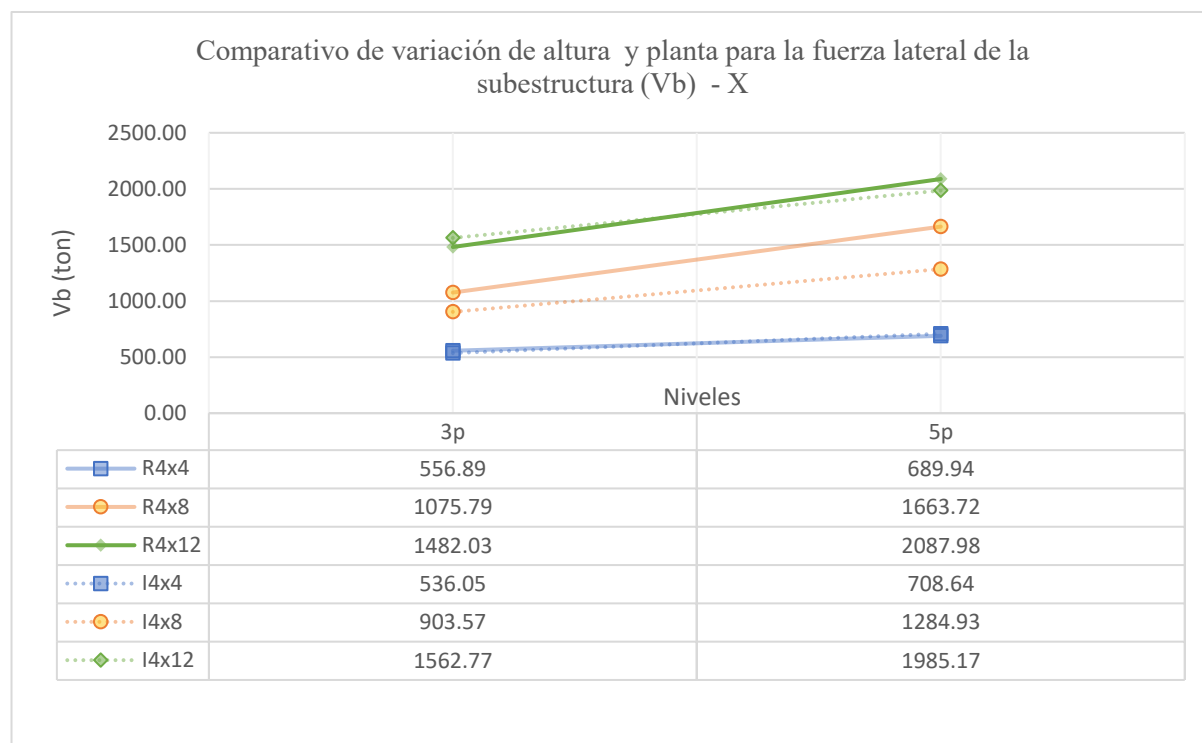
N°	Modelo	Vb (ton)			
		Modal Espectral		Tiempo Historia	
		X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	646.45	646.46	556.89	556.86
2	R4x8.p3	1034.88	1034.75	1075.79	1077.47
3	R4x12.p3	1355.75	1355.64	1482.03	1479.92
4	E4x4.p3	558.73	558.74	536.05	536.15
5	E4x8.p3	819.34	818.39	903.57	889.30
6	E4x12.p3	1209.54	1209.47	1562.77	1565.69
7	R4x4.p5	692.21	692.21	689.94	689.95
8	R4x8.p5	1024.34	1024.34	1663.72	1672.04
9	R4x12.p5	1811.10	1803.66	2087.98	2081.27
10	E4x4.p5	675.02	675.13	708.64	707.89
11	E4x8.p5	1191.90	1195.17	1284.93	1271.51
12	E4x12.p5	1719.48	1718.84	1985.17	1990.41

Según los valores resumidos en la Tabla 43 se logra concluir que estas tendrán un valor máximo de 2087.98 ton en la dirección ‘‘X’’ y 2081.27 ton en la dirección ‘‘Y’’ presentado en el modelo R4x12.p5, y un valor mínimo de 536.05 ton en la dirección ‘‘X’’ y 536.15 ton en la dirección ‘‘Y’’ presentado en el modelo E4x4.p3. Obteniendo así mayores fuerzas laterales de la subestructura para los modelos con forma en planta de 1:3.

A continuación, se presentarán tablas y figuras que nos ayudarán a determinar cómo afecta la variación de altura para una misma forma en planta en los valores de las fuerzas laterales de la subestructura máximas.

Figura 27

Cuadro comparativo de fuerzas laterales de la subestructura – (X)

**Figura 28**

Cuadro comparativo de fuerzas laterales de la subestructura – (Y)

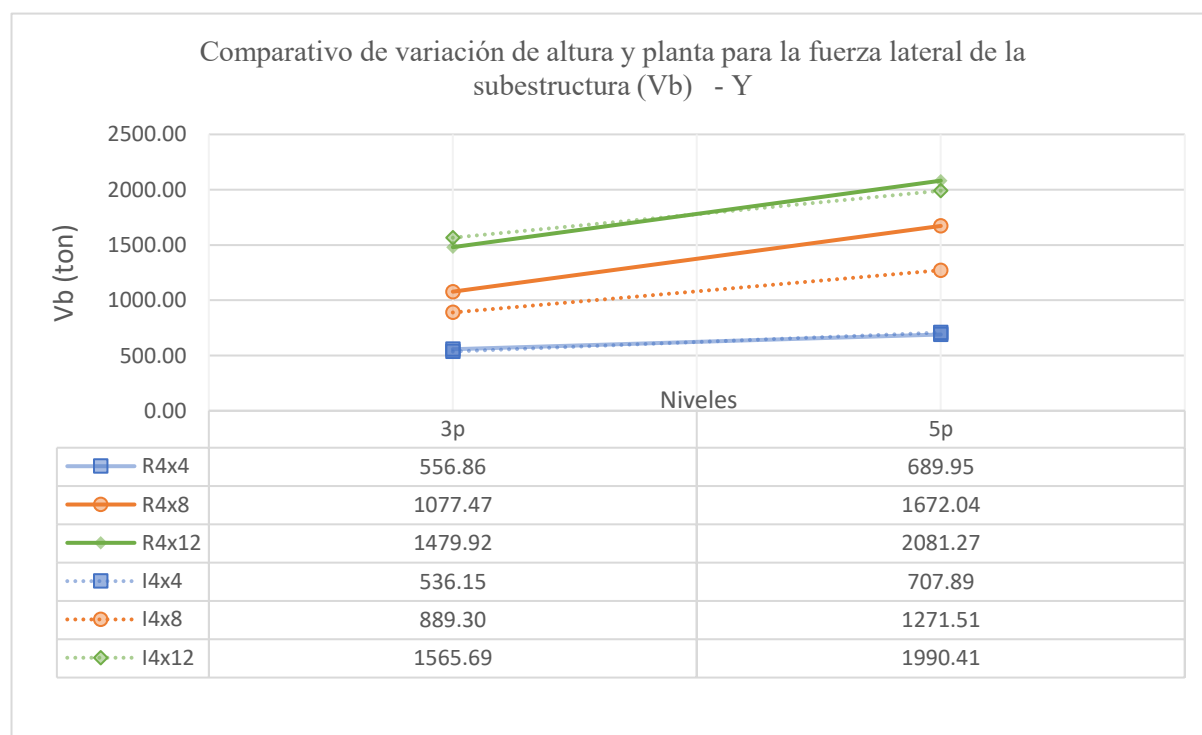


Tabla 44

Comparativo de variación de altura y en planta para fuerzas laterales de la subestructura

N°	Modelo	Vb (ton)					
		Tiempo Historia		Planta		Altura (P5/P3)	
		X	Y	X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	556.89	556.86	1.00	1.00	1.24	1.24
2	R4x8.p3	1075.79	1077.47	1.93	1.93	1.55	1.55
3	R4x12.p3	1482.03	1479.92	2.66	2.66	1.41	1.41
4	E4x4.p3	536.05	536.15	0.96	0.96	1.32	1.32
5	E4x8.p3	903.57	889.30	1.62	1.60	1.42	1.43
6	E4x12.p3	1562.77	1565.69	2.81	2.81	1.27	1.27
7	R4x4.p5	689.94	689.95	1.24	1.24		
8	R4x8.p5	1663.72	1672.04	2.99	3.00		
9	R4x12.p5	2087.98	2081.27	3.75	3.74		
10	E4x4.p5	708.64	707.89	1.27	1.27		
11	E4x8.p5	1284.93	1271.51	2.31	2.28		
12	E4x12.p5	1985.17	1990.41	3.56	3.57		

De las Figuras 29 y 30 podemos determinar que al comparar las fuerzas laterales de la subestructura para modelos con variación de altura con la misma configuración en planta se presentan menores fuerzas en los casos de tres pisos respecto a los de cinco pisos. También gracias a las proporciones obtenidas al comparar los valores de las fuerzas laterales de la subestructura de los modelos de tres pisos respecto a los de cinco pisos (P5/P3) resumidos en la Tabla 44 se logra observar que existe mayor diferencia en proporción en los modelos con forma en planta 1:2, donde en el caso más crítico se tiene una proporción de 1.55 en la dirección “X ” e “Y ” obtenido de comparar los modelos R4x8.p3 con R4x8.p5, y en el caso menos crítico se obtiene una proporción de 1.24 en la dirección “X ” e “Y ” obtenido de comparar el modelo R4x4.p3 y R4x4.p5. Determinando así que la variación de altura para modelos con la misma configuración en planta influye significativamente en las fuerzas laterales de la subestructura máximas obtenidas, teniendo esta mayor incidencia en los modelos con forma en planta de 1:2.

De las proporciones obtenidas al comparar los valores de las fuerzas laterales de la subestructura de los modelos con diferente forma en planta resumidos en la Tabla 44 se logra observar que se presentan mayores fuerzas laterales de la subestructura en los modelos mas alargados con y de mayor altura, donde se obtiene en el caso más crítico una proporción de 3.75 en la dirección “X” obtenido en el modelo R4x12.p5 y en el caso menos critico se obtiene una proporción de 0.96 en la dirección “X” e “Y” obtenido en el modelo E4x4.p3. Determinando así que la variación de configuración en planta para modelos con la misma altura influye significativamente en las fuerzas laterales de la subestructura, teniendo esta mayor incidencia en los modelos más alargados con forma en planta de 1:3.

4.4 Fuerza lateral de la superestructura (Vs)

Las fuerzas laterales promedio de las superestructuras de los modelos fueron halladas del análisis tiempo historia con propiedades de límite superior a continuación, detallaremos el resumen de valores en la Tabla 45 con sus respectivos gráficos en dirección “X” e “Y”.

Tabla 45

Resumen de fuerzas laterales de las superestructuras máximas

N°	Modelo	Vs (ton)			
		Modal Espectral		Tiempo Historia	
		X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	519.94	519.94	482.67	482.71
2	R4x8.p3	893.66	893.66	879.61	885.38
3	R4x12.p3	1061.94	1061.94	1170.28	1129.59
4	E4x4.p3	445.93	445.93	449.62	450.21
5	E4x8.p3	646.61	646.61	709.66	687.54
6	E4x12.p3	962.06	962.06	1068.03	1068.37
7	R4x4.p5	655.76	655.76	594.68	594.58
8	R4x8.p5	971.20	971.20	1416.64	1414.70
9	R4x12.p5	1606.72	1606.72	1831.69	1810.86
10	E4x4.p5	616.51	616.51	643.19	640.70
11	E4x8.p5	924.35	924.35	1082.09	1103.42
12	E4x12.p5	1509.17	1509.17	1736.52	1708.48

Según los valores resumidos en la Tabla 45 se logra concluir que estas tendrán un valor máximo de 1831.69 ton en la dirección ‘‘X’’ y 1810.86 ton en la dirección ‘‘Y’’ presentado en el modelo R4x12.p5, y un valor mínimo de 449.62 ton en la dirección ‘‘X’’ y 450.21 ton en la dirección ‘‘Y’’ presentado en el modelo E4x4.p3. Obteniendo así mayores fuerzas laterales de la superestructura para los modelos con forma en planta de 1:3.

A continuación, se presentarán tablas y figuras que nos ayudarán a determinar cómo afecta la variación de altura para una misma forma en planta en los valores de las fuerzas laterales de la superestructura.

Figura 29

Cuadro comparativo de fuerzas laterales de la superestructura – (X)

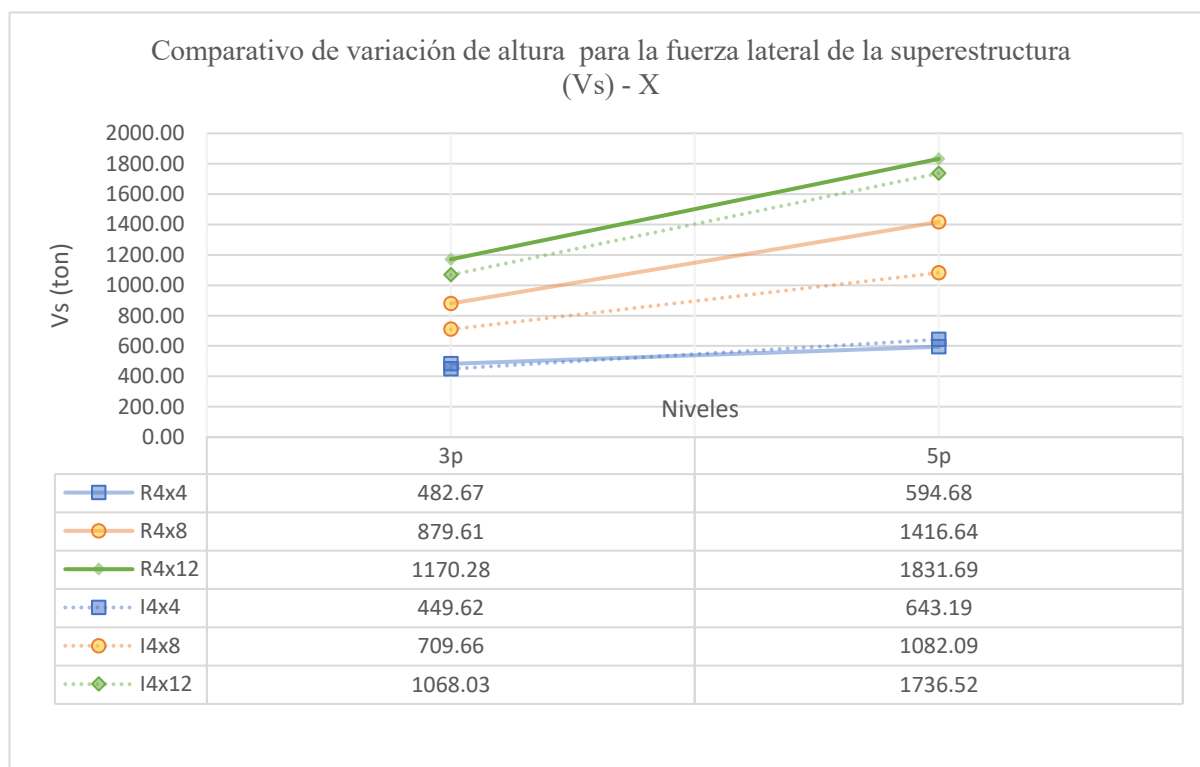
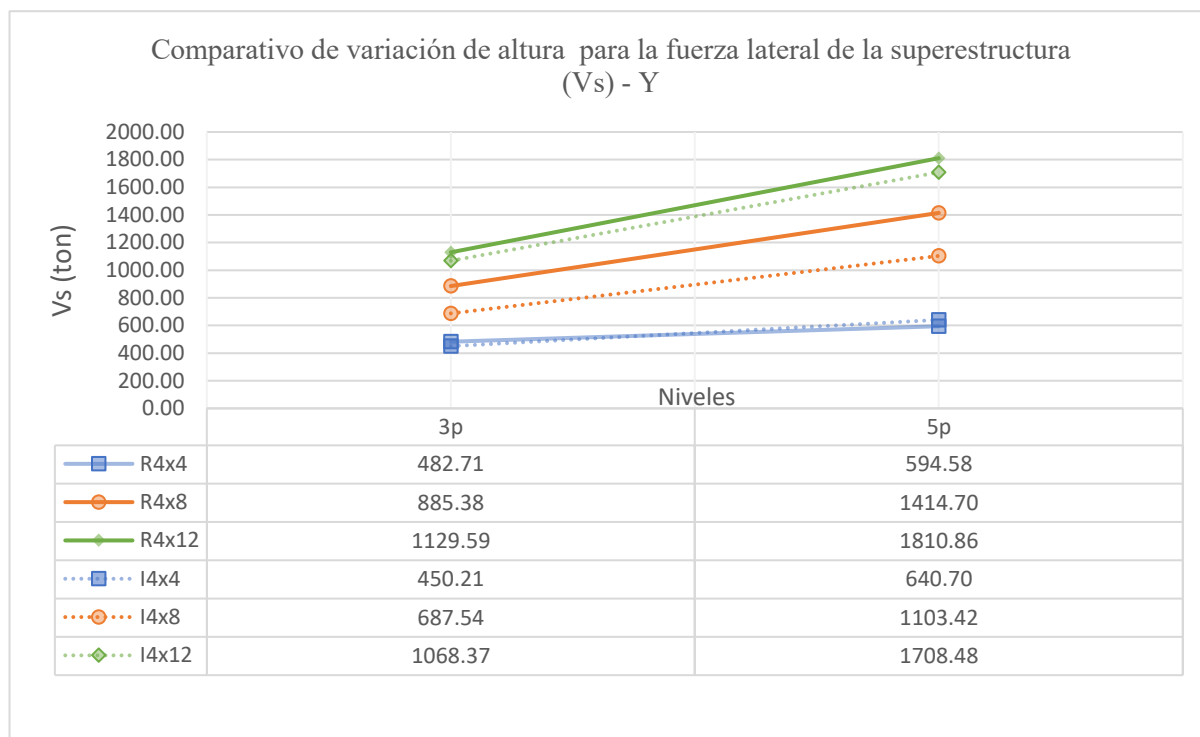


Figura 30

Cuadro comparativo de fuerzas laterales de la superestructura – (Y)

**Tabla 46**

Comparativo de variación de altura y en planta para fuerzas laterales de la superestructura

Nº	Modelo	Vs (ton)					
		Tiempo Historia		Planta		Altura (P5/P3)	
		X	Y	X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	482.67	482.71	1.00	1.00	1.23	1.23
2	R4x8.p3	879.61	885.38	1.82	1.83	1.61	1.60
3	R4x12.p3	1170.28	1129.59	2.42	2.34	1.57	1.60
4	E4x4.p3	449.62	450.21	0.93	0.93	1.43	1.42
5	E4x8.p3	709.66	687.54	1.47	1.42	1.52	1.60
6	E4x12.p3	1068.03	1068.37	2.21	2.21	1.63	1.60
7	R4x4.p5	594.68	594.58	1.23	1.23		
8	R4x8.p5	1416.64	1414.70	2.94	2.93		
9	R4x12.p5	1831.69	1810.86	3.79	3.75		
10	E4x4.p5	643.19	640.70	1.33	1.33		
11	E4x8.p5	1082.09	1103.42	2.24	2.29		
12	E4x12.p5	1736.52	1708.48	3.60	3.54		

De las Figuras 31 y 32 podemos determinar que al comparar las fuerzas laterales de la superestructura para modelos con variación de altura con la misma configuración en planta se presentan menores fuerzas en los casos de tres pisos respecto a los de cinco pisos. También gracias a las proporciones obtenidas al comparar los valores de las fuerzas laterales de la superestructura de los modelos de tres pisos respecto a los de cinco pisos ($P5/P3$) resumidos en la Tabla 46 se logra observar que existe mayor diferencia en proporción en los modelos con forma en planta 1:2 y 1:3, donde en el caso más crítico se tiene una proporción de 1.63 en la dirección “X” obtenido de comparar los modelos E4x12.p3 con E4x12.p5, y en el caso menos crítico se obtiene una proporción de 1.23 en la dirección “X” e “Y” obtenido de comparar el modelo R4x4.p3 y R4x4.p5. Determinando así que la variación de altura para modelos con la misma configuración en planta influye significativamente en las fuerzas laterales de la superestructura máximas obtenidas, teniendo esta mayor incidencia en los modelos con forma en planta de 1:2 y 1:3.

De las proporciones obtenidas al comparar los valores de las fuerzas laterales de la superestructura de los modelos con diferente forma en planta resumidos en la Tabla 46 se logra observar que se presentan mayores fuerzas laterales de la superestructura en los modelos más alargados con y de mayor altura, donde se obtiene en el caso más crítico una proporción de 3.79 en la dirección “X” obtenido en el modelo R4x12.p5 y en el caso menos crítico se obtiene una proporción de 0.93 en la dirección “X” e “Y” obtenido en el modelo E4x4.p3. Determinando así que la variación de configuración en planta para modelos con la misma altura influye significativamente en las fuerzas laterales de la superestructura, teniendo esta mayor incidencia en los modelos más alargados con forma en planta de 1:3.

4.5 Desplazamiento máximo del sistema de aislamiento (DM)

El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento de los modelos fue hallado del análisis tiempo historia con propiedades de límite inferior a continuación, detallaremos el resumen de valores en la Tabla 47 con sus respectivos gráficos en dirección “X” e “Y”.

Tabla 47

Resumen de los desplazamientos máximos

N°	Modelo	DM (cm)			
		Modal Espectral		Tiempo Historia	
		X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	28.79	28.79	23.02	23.02
2	R4x8.p3	24.65	24.64	26.08	26.09
3	R4x12.p3	25.66	25.63	29.47	29.47
4	E4x4.p3	28.68	28.68	26.81	26.80
5	E4x8.p3	24.50	24.50	29.42	29.43
6	E4x12.p3	24.40	24.39	30.02	29.96
7	R4x4.p5	25.35	25.35	30.78	30.78
8	R4x8.p5	24.31	24.27	30.81	30.79
9	R4x12.p5	23.99	23.94	30.91	30.72
10	E4x4.p5	25.89	25.89	24.96	24.93
11	E4x8.p5	24.82	24.45	30.56	30.52
12	E4x12.p5	24.04	23.99	31.04	30.85

Según los valores resumidos en la Tabla 47 se logra concluir que los desplazamientos máximos tendrán un valor máximo de 31.04 cm en la dirección “X” y 30.85 cm en la dirección “Y” presentado en el modelo E4x12.p5, y un valor mínimo de 23.02 cm en la dirección “X” e “Y” presentado en el modelo R4x4.p3. Obteniendo así mayores desplazamientos máximos para los modelos con forma en planta de 1:3.

A continuación, se presentarán tablas y figuras que nos ayudarán a determinar cómo afecta la variación de altura para una misma forma en planta en los valores de los desplazamientos máximos.

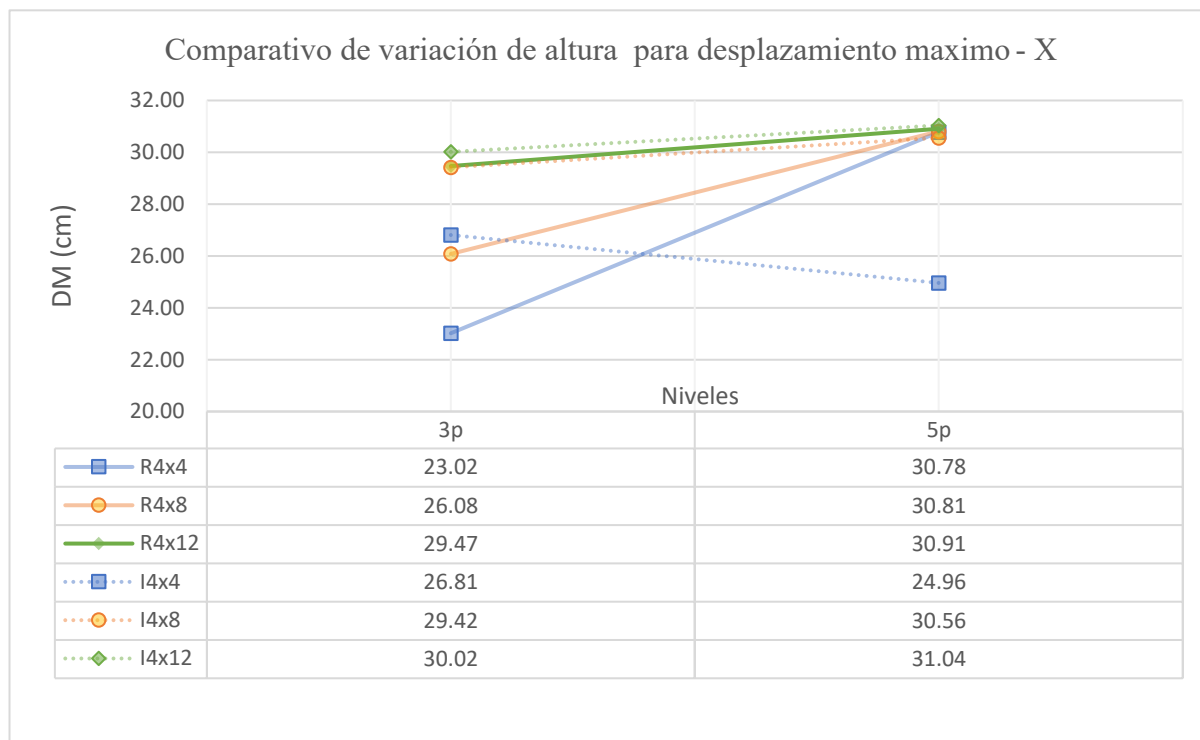
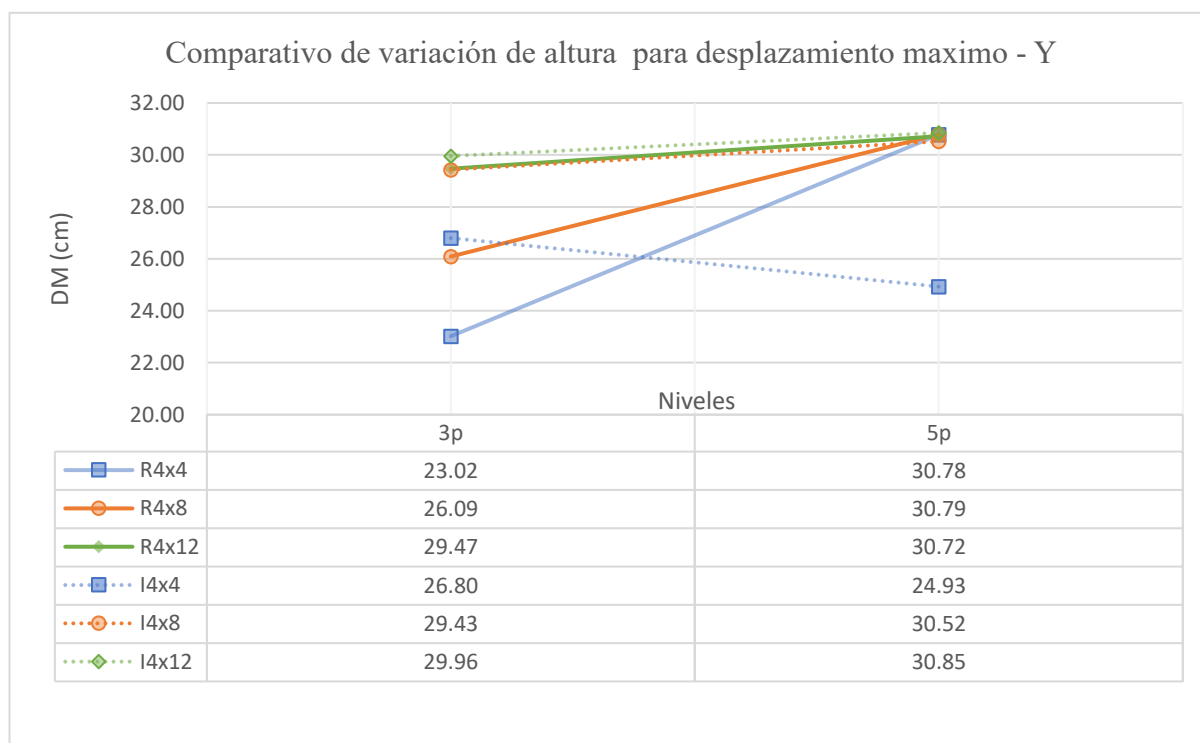
Figura 31*Cuadro comparativo de desplazamientos máximos – (X)***Figura 32***Cuadro comparativo de desplazamientos máximos – (Y)*

Tabla 48

Comparativo de variación de altura y en planta para desplazamiento máximo

Nº	Modelo	DM (cm)					
		Tiempo Historia		Planta		Altura (P5/P3)	
		X	Y	X	Y	X	Y
1	R4x4.p3	23.02	23.02	1.00	1.00	1.34	1.34
2	R4x8.p3	26.08	26.09	1.13	1.13	1.18	1.18
3	R4x12.p3	29.47	29.47	1.28	1.28	1.05	1.04
4	E4x4.p3	26.81	26.80	1.16	1.16	0.93	0.93
5	E4x8.p3	29.42	29.43	1.28	1.28	1.04	1.04
6	E4x12.p3	30.02	29.96	1.30	1.30	1.03	1.03
7	R4x4.p5	30.78	30.78	1.34	1.34		
8	R4x8.p5	30.81	30.79	1.34	1.34		
9	R4x12.p5	30.91	30.72	1.34	1.33		
10	E4x4.p5	24.96	24.93	1.08	1.08		
11	E4x8.p5	30.56	30.52	1.33	1.33		
12	E4x12.p5	31.04	30.85	1.35	1.34		

De las Figuras 33 y 34 podemos determinar que al comparar los desplazamientos máximos para modelos con variación de altura con la misma configuración en planta se presentan en la mayoría de casos menores desplazamientos en los casos de tres pisos respecto a los de cinco pisos. También gracias a las proporciones obtenidas al comparar los valores de los desplazamientos máximos de los modelos de tres pisos respecto a los de cinco pisos (P5/P3) resumidos en la Tabla 48 se logra observar que existe mayor diferencia en proporción en los modelos con forma en planta 1:1, donde en el caso más crítico se tiene una proporción de 1.34 en la dirección “X ” e “Y ” obtenido de comparar los modelos R4x4.p3 con R4x4.p5, y en el caso menos crítico se obtiene una proporción de 1.03 en la dirección “X ” e “Y ” obtenido de comparar el modelo E4x12.p3 y E4x12.p5. Determinando así que la variación de altura para modelos con la misma configuración en planta influye significativamente en los desplazamientos máximos obtenidos, teniendo esta mayor incidencia en los modelos con forma en planta de 1:1.

De las proporciones obtenidas al comparar los valores de los desplazamientos máximos de los modelos con diferente forma en planta resumidos en la Tabla 48 se logra observar que se presentan mayores desplazamientos máximos en los modelos más alargados con y de mayor altura, donde se obtiene en el caso más crítico una proporción de 1.35 en la dirección ‘‘X’’ obtenido en el modelo R4x12.p5 y en el caso menos crítico se obtiene una proporción de 1.00 en la dirección ‘‘X’’ e ‘‘Y’’ obtenido en el modelo E4x4.p3. Determinando así que la variación de configuración en planta para modelos con la misma altura influye significativamente en los desplazamientos máximos, teniendo esta mayor incidencia en los modelos más alargados con forma en planta de 1:3.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Derivas máximas

Según Aguirre y Huallanca (2016) las derivas máximas obtenidas comparando diferentes modelos con variación de altura en plantas tipo regulares determino que estas serán mayores en los casos con mayor altura para los modelos en proporción en planta 1:1, teniendo un aumento en proporción de 1.07 aproximadamente comparando modelos de tres y seis niveles, siendo estos resultados similares parcialmente a los obtenidos en la presente investigación ya que se presentan mayores derivas en los modelos de cinco niveles respecto a los de tres niveles con configuración en planta del tipo regular para los modelos con proporción en planta de 1:1, pero estos con variaciones máximas en proporción de 1.49 dato obtenido de la Tabla 40. La diferencia podría deberse a que en la investigación de Aguirre y Huallanca (2016) va variando la dimensión de las columnas y vigas dependiendo de la cantidad de niveles, diferente a nuestros modelos que presentaran una dimensión constante tanto para los modelos de tres y cinco niveles. Haciendo así que en el caso de los modelos de tres niveles estos sean más rígidos respecto a los de cinco niveles. Acrecentando así la diferencia que ocurre al comparar las derivas para modelos con diferente altura.

En cuanto a los resultados obtenidos por Aguirre y Huallanca (2016) en su investigación donde al comparar los resultados obtenidos de derivas máximas para los modelos de seis niveles con proporción en planta de 1:1 y 1:2.5 estos presentan una diferencia máxima en proporción de 1.05, donde las derivas serán mayores para los modelos con proporción en planta de 1:1. Resultados similares a los determinados en esta investigación, ya que las derivas máximas obtenidas para modelos con cinco niveles serán mayores para los modelos con menor alargamiento 1:1, presentando una diferencia máxima en proporción de 1.07 comparando los modelos R4x4.p5 y R4x8.p5.

5.2 Aceleraciones máximas

Según el Aguilar (2018) en su investigación las aceleraciones máximas obtenidas comparando diferentes modelos con variación en planta determinó que estas serán mayores en las plantas con forma 1:1 donde en su caso más crítico al comprar plantas 1:1 con plantas 1:3 tendrán aceleraciones estas serán mayores en proporción de 1.12 , siendo estos resultados similares a los obtenidos en la presente investigación ya que se presentan mayores aceleraciones en los casos de forma en planta 1:1, presentando estos en su caso más crítico una variación en proporción de 1.20 comparando los modelos R4x4.p3 y R4x12.p3.

Con respecto a los modelos con misma forma en planta, pero diferente altura Aguilar (2018) presenta para sus modelo con forma en planta 1:1 aceleraciones mayores en sus modelos con menor altura respecto a los de mayor altura, donde en su caso mas critico al comprar modelos 1:1 de cuatro y ocho pisos estos presentan una variación en proporción de 1.18, siendo estos resultados similares a los obtenidos en la presente investigación ya que al comprar nuestro modelos con forma en planta 1:1 con variación de tres a cinco niveles estos presentan una diferencia en proporción de 1.14, tomando los valores de las aceleraciones en el último nivel asignado como azotea, valores resumidos en la Tabla 41.

5.3 Fuerza lateral de la subestructura y del sistema de aislamiento (Vb)

Según Aguirre y Huallanca (2016) las fuerzas laterales Vb obtenidas comparando diferentes modelos con variación de altura de tres y seis niveles con plantas tipo regulares con proporción 1:1 y 1:2.5, se determino que estas serán mayores para modelos con mayor altura, en el caso más crítico se presenta una diferencia en proporción de 1.31 al comparar modelos con proporción en planta 1:1 pero diferente altura. Siendo estos valores muy similares a los obtenidos en la presente investigación ya que en todos los modelos analizados será mayor la fuerza lateral Vb para los modelos de mayor altura, donde en el caso de los modelos con forma

en planta 1:1 se tendrá una diferencia en proporción de 1.24 comparando los modelos con tres y cinco niveles, valores resumidos en la Tabla 44.

En cuanto los resultados obtenidos por Aguirre y Huallanca (2016) en su investigación las fuerzas laterales V_b obtenidas comparando diferentes modelos con variación de proporción en planta, pero igual cantidad de niveles presentan mayores valores en los modelos con mayor alargamiento, esto comparando plantas tipo regulares con proporción 1:1 y 1:2.5 donde en el caso más crítico presentan una diferencia en proporción de 1.97. Siendo estos valores muy similares a los obtenidos en la presente investigación ya que en todos los modelos analizados será mayor la fuerza lateral V_b para los modelos de mayor alargamiento, teniendo una proporción máxima de 1.93 obtenido al comparar los modelos R4x4.p3 y R 4x8.p3.

5.4 Fuerza Lateral de la superestructura (V_s)

Según Aguirre y Huallanca (2016) las fuerzas laterales V_s obtenidas comparando diferentes modelos con variación de altura de tres y seis niveles con plantas tipo regulares con proporción 1:1 y 1:2.5, se determinó que estas serán mayores para modelos con mayor altura, en el caso más crítico se presenta una diferencia en proporción de 1.53 al comparar modelos con proporción en planta 1:1 pero diferente altura. Siendo estos valores muy similares a los obtenidos en la presente investigación ya que en todos los modelos analizados será mayor la fuerza lateral V_s para los modelos de mayor altura, donde en el caso de los modelos con forma en planta 1:1 se tendrá una diferencia en proporción de 1.24 comparando los modelos con tres y cinco niveles, valores resumidos en la Tabla 46.

En cuanto los resultados obtenidos por Aguirre y Huallanca (2016) en su investigación las fuerzas laterales V_s obtenidas comparando diferentes modelos con variación de proporción en planta pero igual cantidad de niveles presentan mayores valores en los modelos con mayor alargamiento, esto comparando plantas tipo regulares con proporción 1:1 y 1:2.5 donde en el caso más crítico presentan una diferencia en proporción de 1.97. Siendo estos valores muy

similares a los obtenidos en la presente investigación ya que en todos los modelos analizados será mayor la fuerza lateral V_s para los modelos de mayor alargamiento, teniendo una proporción máxima de 1.82 obtenido al comparar los modelos R4x4.p3 y R4x8.p3.

5.5 Desplazamiento máximo del sistema de aislamiento (DM)

Según Aguirre y Huallanca (2016) los desplazamientos máximos obtenidos comparando diferentes modelos con variación de altura de tres y seis niveles con plantas tipo regulares con proporción 1:1 y 1:2.5, se determinó que estas serán mayores para modelos con mayor altura, en el caso más crítico se presenta una diferencia en proporción de 1.33 al comparar modelos con proporción en planta 1:1 pero diferente altura. Siendo estos valores muy similares a los obtenidos en la presente investigación ya que en todos los modelos analizados será mayor el desplazamiento en la base para los modelos de mayor altura, donde en el caso de los modelos con forma en planta 1:1 se tendrá una diferencia en proporción de 1.34 comparando los modelos con tres y cinco niveles, valores resumidos en la Tabla 48.

En cuanto los resultados obtenidos por Aguirre y Huallanca (2016) en su investigación los desplazamientos máximos obtenidos comparando diferentes modelos con variación de proporción en planta pero igual cantidad de niveles presentan mayores valores en los modelos con mayor alargamiento, esto comparando plantas tipo regulares con proporción 1:1 y 1:2.5 donde en el caso más crítico presentan una diferencia en proporción de 1.22. Siendo estos valores muy similares a los obtenidos en la presente investigación ya que en todos los modelos analizados será mayor los desplazamientos para los modelos de mayor alargamiento, teniendo una proporción máxima de 1.13 obtenido al comparar los modelos R4x4.p3 y R4x8.p3.

VI. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones específicas

6.1.1 Derivas máximas

- Se determinó que la variación de altura para edificaciones hospitalarias con la misma configuración en planta influye significativamente en las derivas máximas, siendo mayores las derivas en los modelos de cinco pisos con una variación máxima de 2.06 obtenido de comparar los modelos E4x12.p3 con E4x12.p5. Además, se logra precisar que la variación de configuración en planta influye también de manera significativa en las derivas máximas siendo mayores las derivas en los modelos con forma en planta 1:1 con esquinas entrantes con una variación máxima de 1.75 obtenido de comparar los modelos R4x4.p3 y E4x4.p5, según se indica en la Tabla 40. De lo anterior mencionado se concluye que para la variación de altura y para la variación de configuración en planta se presentan mayores derivas en los modelos con forma en planta 1:1 con esquinas entrantes de 5 pisos (E4x4.p5).

6.1.2 Aceleraciones máximas

- Se evaluó que la variación de altura para edificaciones hospitalarias con la misma configuración en planta influye significativamente en las aceleraciones máximas, siendo mayores las aceleraciones en los modelos de cinco pisos con una variación máxima de 1.28 obtenido de comparar los modelos E4x12.p3 con E4x12.p5. Además, se logra precisar que la variación de configuración en planta influye también de manera significativa en las derivas máximas siendo mayores las derivas en los modelos con forma en planta 1:1 con esquinas entrantes con una variación máxima de 1.17 obtenido de comparar los modelos R4x4.p3 y E4x4.p5, según se indica en la Tabla 42. De lo anterior mencionado se concluye que para la variación de altura y

para la variación de configuración en planta se presentan mayores derivas en los modelos con forma en planta 1:1 con esquinas entrantes de 5 pisos (E4x4.p5).

6.1.3 Fuerza lateral de la subestructura y del sistema de aislamiento (Vb)

- Se calculó que la variación de altura para edificaciones hospitalarias con la misma configuración en planta influye significativamente en las fuerzas laterales de la subestructura, siendo mayores las fuerzas en los modelos de cinco pisos con una variación máxima de 1.55 obtenido de comparar los modelos R4x8.p3 con R4x8.p5. Además, se logra precisar que la variación de configuración en planta influye también de manera significativa en las fuerzas laterales de la subestructura siendo mayores las fuerzas en los modelos con forma en planta 1:3 con una variación máxima de 3.75 obtenido de comparar los modelos R4x4.p3 y R4x12.p5, según se indica en la Tabla 44. De lo anterior mencionado se concluye que para la variación de altura y para la variación de configuración en planta se presentan mayores derivas en los modelos con forma en planta 1:3 de 5 pisos (R4x12.p5).

6.1.4 Fuerza lateral de la superestructura (Vs)

- Se determinó que la variación de altura para edificaciones hospitalarias con la misma configuración en planta influye significativamente en las fuerzas laterales de la superestructura, siendo mayores las fuerzas en los modelos de cinco pisos con una variación máxima de 1.63 obtenido de comparar los modelos E4x12.p3 y E4x12.p5. Además, se logra precisar que la variación de configuración en planta influye también de manera significativa en las fuerzas laterales de la superestructura siendo mayores las fuerzas en los modelos con forma en planta 1:3 con una variación máxima de 3.79 obtenido de comparar los modelos R4x4.p3 y R4x12.p5, según se indica en la Tabla

46. De lo anterior mencionado se concluye que para la variación de altura y para la variación de configuración en planta se presentan mayores derivas en los modelos con forma en planta 1:3 de 5 pisos (R4x12.p5).

6.1.5 Desplazamiento máximo del sistema de aislamiento (DM)

- Se calculó que la variación de altura para edificaciones hospitalarias con la misma configuración en planta influye significativamente en los desplazamientos máximos del sistema de aislamiento, siendo mayores los desplazamientos en los modelos de cinco pisos con una variación máxima de 1.34 obtenido de comparar los modelos R4x4.p3 y R4x4.p5. Además, se logra precisar que la variación de configuración en planta influye también de manera significativa en los desplazamientos máximos del sistema de aislamiento siendo mayores los desplazamientos en los modelos con forma en planta 1:3 con esquinas entrantes con una variación máxima de 1.35 obtenido de comparar los modelos R4x4.p3 y E4x12.p5, según se indica en la Tabla 4. De lo anterior mencionado se concluye que para la variación de altura y para la variación de configuración en planta se presentan mayores derivas en los modelos con forma en planta 1:3 con esquinas entrantes de 5 pisos (E4x12.p5).

6.2 Conclusión general

- Finalmente se determinó que la forma en planta 1:1 presenta mayores derivas máximas, aceleraciones máximas y los modelos con forma en planta 1:3 presentan mayores fuerzas laterales de la superestructura, fuerzas laterales de la subestructura y desplazamientos máximos. Determinando así que los modelos con forma en planta 1:2 presenta mejor comportamiento sísmico porque presenta menores variaciones al alternar la altura y la forma en planta.

VII. RECOMENDACIONES

7.1 Recomendaciones generales

- Al definir la forma de la estructura se recomienda el aspecto 1:2, ya que este tipo de disposición ha mostrado respuestas más uniformes con respecto a los parámetros sísmicos analizados en la presente tesis como, aceleraciones, desplazamientos y fuerzas laterales.
- Se recomienda que en lo posible no se propongan edificaciones con relación aspecto 1:1, ya que estos han presentado las mayores respuestas sísmicas para las derivas y aceleraciones.

7.2 Recomendaciones para futuras líneas de investigación

- Realizar análisis comparativos considerando irregularidades de rigidez y de resistencia, ya que no existen restricciones para estas en la norma E.031.
- Elaborar investigaciones para variaciones de respuestas sísmicas para edificios de baja, mediana y gran altura.
- Desarrollar investigaciones de análisis comparativos con perfiles de suelo diferentes.
- Realizar análisis comparativos para diferentes tipos de aisladores y sus comportamientos ante la variación de altura y forma.
- Investigar sobre tracción mínima y máxima recomendada para dispositivos de aislamiento como los LRB o los HDR.

VIII. REFERENCIAS

- Aguilar, H. (2018). *Respuesta torsional de edificios sísmicamente aislados en el Perú. Comparación de métodos estáticos y dinámicos*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13273>
- Aguirre, Y. y Huallanca, L. (2016). *Influencia de la esbeltez en el comportamiento estructural de edificios con aislamiento en la base*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7288>
- Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (2011). *Protección Sísmica de Estructuras*. https://www.cdt.cl/?post_type=dlm_download&p=76545
- Herráiz, M. (1997). *Conceptos básicos de sismología para ingenieros*. Universidad Nacional de Ingeniería - CISMID.
- Méndez, C. (28 al 30 de agosto de 2013). Beneficios y Ventajas de los Sistemas de Protección Sísmica [congreso]. *Congreso estructuras 2013 XII seminario de ingeniería estructural y sísmica*, San José, Costa Rica.
- Mendo, A. (2015). *Bases para la implementación de la norma peruana de análisis y diseño de edificios con aislación sísmica*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6817>
- Norabuena, E., Leffler-Griffin, L., Mao, A., Dixon, T., Stein, S., Sacks, I., Ocola, L. y Ellis, M. (1998). Space Geodetic Observations of Nazca-South America Convergence Across the Central Andes. *Science*, 279(5349), pp. 358–362. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.279.5349.358>

- Olivos, O. (2018). *Protección sísmica de edificaciones hospitalarias peruanas por aislamiento sísmico*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12962>
- Organización Panamericana de la Salud. (abril 2009). *Los hospitales seguros salvan vidas*. <https://www.paho.org/es/noticias/6-4-2009-hospitales-seguros-salvan-vidas>
- Ottazzi, G. y Quiun, D. (1994). Peru. En: Paz, M. (Ed.), *International Handbook of Earthquake Engineering* (pp. 377-388) Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2069-6_27
- Oviedo, J. y Duque, M. (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. *Revista Escuela de Ingenieria de Antioquia*, 6, pp. 105–120. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000200010&nrm=iso
- Portillo, A. (2019). *Diseño de un hospital con aislamiento sísmico según la normatividad peruana*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14234>
- Sampieri, R., Collado, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6.a ed.). McGraw-Hill.
- Solórzano, E. (2019). *Influencia de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un hospital con aislamiento sísmico en la base*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14915>
- Talavera, A. (2017). Experiencia nacional en edificaciones con sistemas de protección sísmica. *Influencia de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un hospital con aislamiento sísmico en la base*. <https://es.scribd.com/document/398891495/SISMO>

Zanelli, C. y Paredes, P. (2019). *Diseño estructural de un pabellon de hospital con aisladores sismicos*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/15267>

IX. ANEXOS

Anexo A: Fichas técnicas

Ficha Técnica N°01

Indicador: Derivas máximas
Tesis: Influencia de la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en la respuesta sísmica según la NTE.031
Tesista: Baldeón Miranda, Danica Paola
Universidad: Universidad Nacional Federico Villarreal
Facultad: Ingeniería Civil

N°	Modelo	Derivas máximas	
		Tiempo Historia	
		X	Y
1	R4x4.p3	—	—
2	R4x8.p3	—	—
3	R4x12.p3	—	—
4	R4x4.p5	—	—
5	R4x8.p5	—	—
6	R4x12.p5	—	—
7	E4x4.p3	—	—
8	E4x8.p3	—	—
9	E4x12.p3	—	—
10	E4x4.p5	—	—
11	E4x8.p5	—	—
12	E4x12.p5	—	—


 MARIO ULISES
 RIVERA DÍAZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 166704


 LUDWIG ECHEVARRÍA ESPINOZA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 68897


 GIANCARLO CRISPÍN SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 212030

CIP: 166704 PUNTAJE 0.8

CIP 68897. PUNTAJE 0.8

CIP: 212030 PUNTAJE: 0.9

Ficha Técnica N°02

Indicador: Aceleraciones máximas
Tesis: Influencia de la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en la respuesta sísmica según la NTE.031
Tesista: Baldeón Miranda, Danica Paola
Universidad: Universidad Nacional Federico Villarreal
Facultad: Ingeniería Civil

N°	Modelo	Aceleraciones máximas (g)	
		Tiempo Historia	
		X	Y
1	R4x4.p3	—	—
2	R4x8.p3	—	—
3	R4x12.p3	—	—
4	R4x4.p5	—	—
5	R4x8.p5	—	—
6	R4x12.p5	—	—
7	E4x4.p3	—	—
8	E4x8.p3	—	—
9	E4x12.p3	—	—
10	E4x4.p5	—	—
11	E4x8.p5	—	—
12	E4x12.p5	—	—


 MARIO UICES
 RIVERO DÍAZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 166704

CIP: 166704

PUNTAJE 0.8


 LUDWIG ECHEVARRIA ESPINOZA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 68897

CIP 68897

PUNTAJE 0.8


 GIANCARLO CRISPIN SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 212030

CIP : 212030

PUNTAJE 0.9

Ficha Técnica N°03

Indicador: Fuerza lateral de la subestructura y del sistema de aislamiento (Vb)
Tesis: Influencia de la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en la respuesta sísmica según la NTE.031
Tesista: Baldeón Miranda, Danica Paola
Universidad: Universidad Nacional Federico Villarreal
Facultad: Ingeniería Civil

N°	Modelo	Vb (ton)	
		Tiempo Historia	
		X	Y
1	R4x4.p3	--	--
2	R4x8.p3	--	--
3	R4x12.p3	--	--
4	R4x4.p5	--	--
5	R4x8.p5	--	--
6	R4x12.p5	--	--
7	E4x4.p3	--	--
8	E4x8.p3	--	--
9	E4x12.p3	--	--
10	E4x4.p5	--	--
11	E4x8.p5	--	--
12	E4x12.p5	--	--


 MARIO ULICES
 RIVERA DIAZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 166704

CIP: 166704

PUNTAJE 0.8


 LUDWIG ECHEVARRIA ESPINOZA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 68897

CIP 68897

PUNTAJE 0.8


 GIANCARLO CRISTHIAN SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 212030

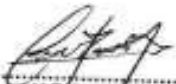
CIP: 212030

PUNTAJE 0.9

Ficha Técnica N°04

Indicador: Fuerza lateral de la superestructura (V_s)
Tesis: Influencia de la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en la respuesta sísmica según la NTE.031
Tesista: Baldeón Miranda, Danica Paola
Universidad: Universidad Nacional Federico Villarreal
Facultad: Ingeniería Civil

N°	Modelo	V_s (ton)	
		Tiempo Historia	
		X	Y
1	R4x4.p3	—	—
2	R4x8.p3	—	—
3	R4x12.p3	—	—
4	R4x4.p5	—	—
5	R4x8.p5	—	—
6	R4x12.p5	—	—
7	E4x4.p3	—	—
8	E4x8.p3	—	—
9	E4x12.p3	—	—
10	E4x4.p5	—	—
11	E4x8.p5	—	—
12	E4x12.p5	—	—


 MARIO ULICES
 RIVERA DIAZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 166704

CIP : 166704

PUNTAJE 0.8


 LUDWIG ECHEVARRIA ESPINOZA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 68897

CIP 68897

PUNTAJE 0.8


 GIANCARLO CRISPIN SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 212030

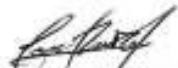
CIP : 212030

PUNTAJE : 0.9

Ficha Técnica N°05

Indicador: Desplazamiento máximo del sistema de aislamiento (D_m)
Tesis: Influencia de la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en la respuesta sísmica según la NTE.031
Tesista: Baldeón Miranda, Danica Paola
Universidad: Universidad Nacional Federico Villarreal
Facultad: Ingeniería Civil

N°	Modelo	D _m (cm)	
		Tiempo Historia	
		X	Y
1	R4x4.p3	—	—
2	R4x8.p3	—	—
3	R4x12.p3	—	—
4	R4x4.p5	—	—
5	R4x8.p5	—	—
6	R4x12.p5	—	—
7	E4x4.p3	—	—
8	E4x8.p3	—	—
9	E4x12.p3	—	—
10	E4x4.p5	—	—
11	E4x8.p5	—	—
12	E4x12.p5	—	—


 MARIO ULICES
 RIVERA DÍAZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 166704

CIP : 166704

PUNTAJE 0.8


 LUDWIG ECHEVARRIA ESPINOZA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 68893

CIP 68893

PUNTAJE 0.8


 JUAN CARLOS CRISPÍN SILVA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 212030

CIP: 212030

PUNTAJE : 0.9

Anexo B: Matriz de consistencia

TÍTULO: INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN EN EDIFICACIONES HOSPITALARIAS CON SISTEMA DE AISLAMIENTO TIPO LRB EN LA RESPUESTA SÍSMICA SEGÚN LA NTE.031					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES
Problema general.-	Objetivo general.-	Hipótesis general.-	Variable independiente.-		
¿En que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la respuesta sísmica según la NTE.031?	Determinar en que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye en la respuesta sísmica según la NTE.031.	La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB influye significativamente en la respuesta sísmica según la NTE.031.	- Configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB	- Forma en Planta	- Regular - Irregular
				- Altura	- 3 pisos - 5 pisos
Problemas específicos.-	Objetivos específicos.-	Hipótesis específicas.-	Variable dependiente.-		
a) ¿En que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a la fuerza cortante total en el sistema de aislamiento sísmico influye en la respuesta sísmica según la NTE.031?	a) Determinar en que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a la fuerza cortante total en el sistema de aislamiento sísmico influye en la respuesta sísmica según la NTE.031.	a) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a la fuerza cortante total en el sistema de aislamiento sísmico influye significativamente en la respuesta sísmica según la NTE.031.	- Respuesta sísmica según la NTE.031	-Comportamiento estructural del sistema de aislamiento	-Fuerza cortante total en el sistema de aislamiento sísmico "Vb" (Ton)
b) ¿En que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación al desplazamiento en la base aislada influye en la respuesta sísmica según la NTE.031?	b) Determinar en que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación al desplazamiento en la base aislada influye en la respuesta sísmica según la NTE.031.	b) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación al desplazamiento en la base aislada influye significativamente en la respuesta sísmica según la NTE.031.			- Desplazamiento en la base aislada (cm)
c) ¿En que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a las derivas máximas influye en la respuesta sísmica según la NTE.031?	c) Determinar en que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a las derivas máximas influye en la respuesta sísmica según la NTE.031.	c) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a las derivas máximas influye significativamente en la respuesta sísmica según la NTE.031.		-Comportamiento estructural de la superestructura	- Derivas máximas (‰)
d) ¿En que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a la aceleración de entrepiso influye en la respuesta sísmica según la NTE.031?	d) Determinar en que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a la aceleración de entrepiso influye en la respuesta sísmica según la NTE.031.	d) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a la aceleración de entrepiso influye significativamente en la respuesta sísmica según la NTE.031.			- Aceleración de entrepiso (m/seg ²)
e) ¿En que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a la fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico influye en la respuesta sísmica según la NTE.031?	e) Determinar en que medida la configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a la fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico influye en la respuesta sísmica según la NTE.031.	e) La configuración en edificaciones hospitalarias con sistema de aislamiento tipo LRB en relación a la fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico influye significativamente en la respuesta sísmica según la NTE.031.			- Fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico "Vs" (Ton)